

TECNOLOGIAS DE BASE MICROBIANA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA AQUICULTURA: UMA REVISÃO

Microbial-based technologies for sustainable aquaculture development: a review

Robério Mires de Freitas¹, Jéssica Lucinda Saldanha da Silva², Oscarina Viana de Sousa³

¹Doutorando do Programa de Pós-graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Universidade Federal do Ceará (UFC), bolsista da Capes. E-mail: roberiodw20@gmail.com

²Professora do Curso de Engenharia de Pesca, Universidade Federal do Ceará (UFC). E-mail: jessicalucinda89@gmail.com.

³Professora do Curso de Oceanografia e Ciências Ambientais, Universidade Federal do Ceará (UFC). E-mail: oscarinavs@ufc.br

RESUMO

A aquicultura representa uma atividade importante para o desenvolvimento econômico e social das regiões onde está inserida. No entanto, impactos ambientais negativos causados pelo atual modelo de produção levam a questionamentos sobre a sustentabilidade desta atividade. Este cenário incentiva a criação e utilização de tecnologias que minimizem os danos ambientais gerados pelo seu crescimento, como as baseadas na utilização de microrganismos. Este estudo de revisão de literatura explora as principais tecnologias baseadas em microrganismos aplicadas na aquicultura. A seleção dos artigos foi feita a partir da plataforma Web of Science utilizando o protocolo PRISMA, e foram estabelecidos critérios de exclusão e inclusão garantindo a precisão dos resultados. As informações sobre o impacto das principais tecnologias baseadas em microrganismos na sustentabilidade do cultivo de espécies aquáticas, e a diversidade de microrganismos a elas aplicadas foram aqui resumidas.

Palavras-chave: BFT, Probióticos, IBAC, SBR, *Bacillus*.

ABSTRACT

Aquaculture represents an important activity for the economic and social development of the regions where it is located, although negative environmental impacts in the development model currently used lead to questions about the sustainability of this activity. This scenario encourages the creation and use of technologies that minimize environmental damage caused by their growth, such as those based on the use of microorganisms. This literature review study explores the main technologies based on the manipulation of microorganisms applied in aquaculture. The selection of articles was made from the Web of Science platform using the PRISMA protocol, with exclusion and inclusion criteria established ensuring the accuracy of the results. Information on the impact of key microorganism-based technologies on sustainability in the cultivation of aquatic species, and the diversity of microorganisms applied to them, has been summarized here.

Keywords: BFT, Probiotics, IBAC, SBR, *Bacillus*.

INTRODUÇÃO

A aquicultura é uma atividade com elevado potencial para impactar positivamente os setores econômicos e sociais. Contribui de forma significativa com a economia (local, regional e nacional) por meio da geração de empregos para a manutenção da cadeia de produção aquícola e socialmente com a segurança alimentar, além de contribuir para reduzir a desigualdade etária e de gênero, representando uma oportunidade de trabalho para jovens e mulheres (Nasr-Allah *et al.*, 2020). Em contrapartida, a aquicultura pode ser relacionada a uma série de impactos ambientais negativos que podem ser convertidos em prejuízos econômicos e sociais, o que leva a questionamentos quanto a sua sustentabilidade (Weitzman; Filgueira; Grant, 2023). Entre as preocupações ambientais, a questão mais emergente pode ser atrelada à gestão hídrica, uma vez que a água, ao passo que é um recurso indispensável para o cultivo de organismos aquáticos, é o principal veículo de poluição nas áreas adjacentes aos empreendimentos aquícolas (Naylor; Fang; Fanzo, 2023).

No cenário mundial, com necessidades de aumento da produção de alimentos e também de mitigação dos efeitos adversos no ambiente decorrentes da produção aquícola, surgiram várias tecnologias de produção e tratamento baseados em microrganismos. (Ahmad *et al.*, 2022). A busca por manejos que resolvam as principais problemáticas da aquicultura e que forneçam uma base consolidada para o desenvolvimento sustentável da atividade é necessária rumo a um progresso transformador da indústria de produção de organismos aquáticos (Partelow *et al.*, 2023). As tecnologias baseadas no uso de microrganismos atendem muitos dos atuais indicadores de sustentabilidade da aquicultura, incluindo indicadores ambientais, sociais e econômicos (Valenti *et al.*, 2018). Entender o funcionamento e desenvolvimento atual dessas tecnologias pode indicar o início do desenvolvimento mais sustentável da aquicultura.

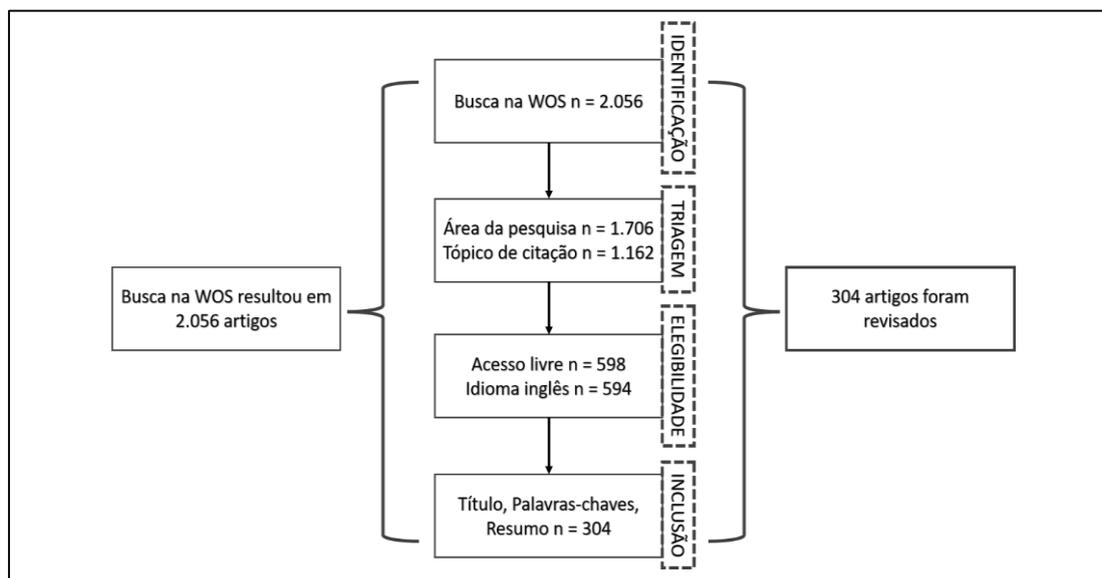
Diante do discutido, esta revisão busca reunir dados sobre as principais tecnologias baseadas em microrganismos que são utilizadas na aquicultura e entender quais os efeitos dessas abordagens para o seu desenvolvimento sustentável, bem como traçar informações sobre os principais grupos de microrganismos aplicados nos diferentes sistemas de cultivos na aquicultura.

MATERIAL E MÉTODOS

O levantamento de dados ocorreu de acordo com os padrões proposto pelo protocolo para revisões sistemáticas e meta-análises PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and MetaAnalyses*) (Liberati *et al.*, 2009) com buscas por trabalhos científicos a partir da base de dados *WEB OF SCIENCE* (WOS). Etapas para a seleção e inclusão do material bibliográfico foram estabelecidos (Figura 1). Foram designadas palavras-chaves para a busca, definidas de acordo com os seguintes critérios: palavras representativas e na língua inglesa, com variações possíveis de serem identificadas para as palavras do mesmo sentido. Sendo elas: “*Microorganism*”; “*Aquaculture*”; “*Shrimp-farming*”; “*Fish-farming*”; “*Environmental Impact*”; “*Social Impact*”; “*Economic Impact*”.

Não foi aplicado filtro temporal na busca e esta foi estruturada utilizando operadores booleanos (*AND* e *OR*) para construir uma consulta eficaz das palavras chaves e termos similares ou próximos (Zohuri; Moghaddam, 2017). As expressões utilizadas nas buscas foram as seguintes: “*Microorganism in Aquaculture*” *OR* “*Microorganism in shrimp-farming*” *OR* “*Microorganism in fish-farming*” *AND* “*Environmental Impact*” *AND* “*Social Impact*” *AND* “*Economic Impact*”.

Figura 1 – Fluxograma referente aos procedimentos de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos trabalhos científicos baseado no protocolo PRISMA



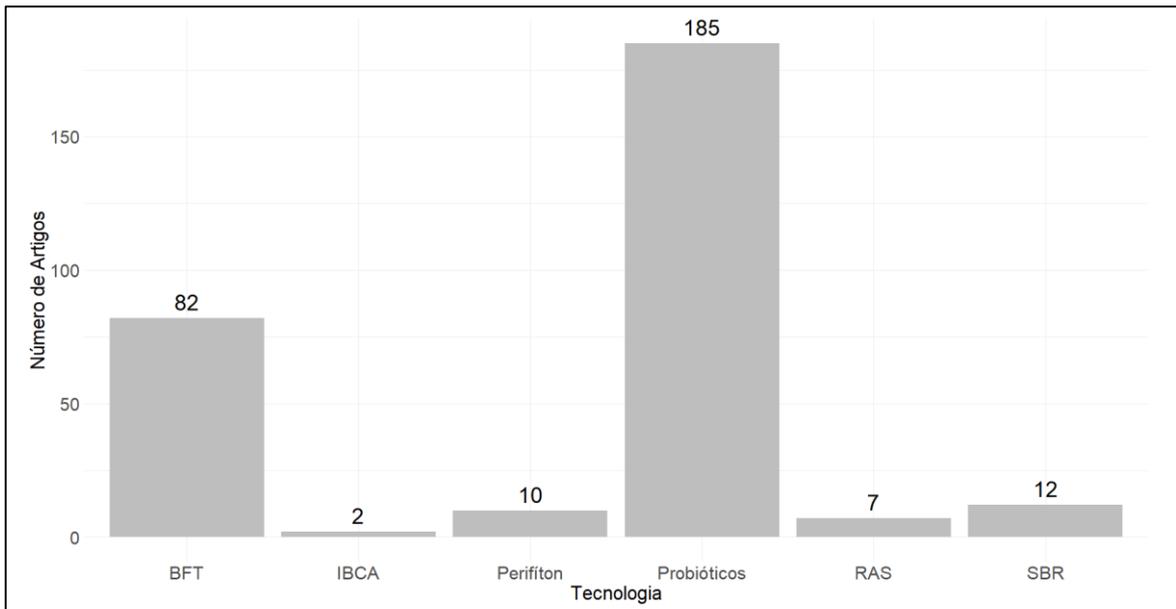
A busca na plataforma WOS resultou em 2.056 artigos (Etapa 1 – identificação), estes foram filtrados utilizando as categorias da WOS como as opções de área do estudo e tópico de citação (Etapa 2 – triagem). Os resultados filtrados foram avaliados frente a critérios de elegibilidade, onde houve apenas a inclusão de artigos com acesso livre e escritos na língua inglesa (Etapa 3 – elegibilidade). Por fim, como critério de inclusão,

aqueles artigos que continham alguma menção das palavras chaves escolhidas no início da busca nos títulos, *keywords* ou resumos foram incluídos, dessa forma, foram analisados 304 artigos (Etapa 4 – inclusão).

RESULTADOS

Foram identificadas algumas tecnologias que fazem uso de microrganismos em sistemas de aquicultura ao decorrer do levantamento bibliográfico (Figura 2). Segundo as informações observadas, probiótico foi a técnica mais frequente nos artigos consultados, com uma ocorrência de 185 registros. Em seguida, a tecnologia de bioflocos (BFT) foi citada 82 vezes, seguida por sistemas de reator em bateladas (SBR) com 12 registros, perifíton com 10 registros, sistema de recirculação aquícola (RAS) com 7 registros e imobilização biológica por carvão ativado (IBAC) com 2 registros.

Figura 2 – Frequência de ocorrência das técnicas de manejo baseadas no uso de microrganismos na aquicultura relatada nos artigos científicos consultados



Principais tecnologias baseadas em microrganismos na aquicultura

Probióticos

Os probióticos são microrganismos vivos que, quando consumidos em quantidades apropriadas como parte da dieta, conferem efeitos benéficos à saúde do hospedeiro. Desde meados da década de 2000, os probióticos vêm sendo sugeridos às atividades de aquicultura como um método ecologicamente correto para prevenir doenças e proporcionar a manutenção das condições de um ambiente adequado para as espécies cultivadas (El-Saadony *et al.*, 2021).

Os microrganismos elegíveis à aplicação como probióticos, devem suportar as condições do trato gastrointestinal do hospedeiro, como pH ácido e a presença de sais

biliares, além da capacidade de adesão que confere a colonização do muco intestinal, produção de exoenzimas que auxiliam a quebra e absorção de nutrientes e bactericinas que promovem a redução da comunidade de microrganismos com potencial patogênico no trato gastrointestinal dos hospedeiros (Wang *et al.*, 2019). Para além dessas características, estudos apontam que a partir da colonização do trato gastrointestinal, algumas cepas probióticas promovem a modulação de toda a microbiota daquele hábitat e influenciam na expressão de genes relacionados ao funcionamento adequado do sistema imunológico do hospedeiro (Taufik *et al.*, 2023).

Apesar de muitos microrganismos serem candidatos à aplicação como probióticos, o grupo mais amplamente estudado se refere ao Filo bacteriano Firmicutes. Neste grupo estão classificadas as denominadas bactérias produtoras de ácido lático (BAL) e espécies do gênero *Bacillus*, o qual é reconhecido pela produção de endósporos (Wang; Lin; Chang, 2023). A escolha pelos microrganismos do filo Firmicutes pode ser resumida devido a sua plasticidade na forma de aplicação, e considerando a capacidade de grupos como os *Bacillus* de produzirem endósporos, esses apresentam vantagens como a vida útil de longa duração, resistência a pH's extremos, a radiação ultravioleta (UV) e a altas temperaturas além dos vastos efeitos positivos já discutidos.

A aplicação de probióticos na aquicultura apresenta vantagens para a sustentabilidade econômica e social com benefícios registrados nos resultados positivos ao final dos ciclos de cultivo, como a melhoria da qualidade de água, removendo de forma efetiva compostos nitrogenados (Kim *et al.*, 2021), o incremento do crescimento e saúde dos animais cultivados (Dima *et al.*, 2022), e a inibição do desenvolvimento de potenciais patógenos para aquicultura (Zhou *et al.*, 2022; Zabidi *et al.*, 2021) em comparação com o uso de aditivos e drogas sintéticas, como produtores de crescimento e antibióticos (Wang *et al.*, 2019).

Tecnologia de Bioflocos (BFT)

A tecnologia de bioflocos (BFT), do inglês *Biofloc Technology*, é constituída por um agregado de microrganismos, tais como, bactérias, fungos, microalgas, protozoários, microinvertebrados envolvidos por uma matriz polissacarídica e detritos orgânicos e que se encontram suspensos na coluna d'água (Chen *et al.*, 2023). Ainda segundo esses autores, o uso na aquicultura tem como objetivos principais a remediação ambiental com a melhoria da qualidade da água e na prevenção de doenças aos organismos cultivados.

Visando a manutenção da qualidade de água, a qual atenda as exigências das espécies cultivadas e mantenha características físico-químicas adequadas para o lançamento no ambiente, o BFT pode ser uma alternativa viável para alcançar esse objetivo, além de possibilitar a redução do volume de água utilizado nos cultivos com o reuso da água. Os microrganismos que constituem o BFT podem oxidar compostos como amônia e nitrito em compostos menos tóxicos para os organismos aquáticos e representam uma alternativa de cultivo sem necessidade de troca de água ou com troca mínima (Debbarma *et al.*, 2022). Essas características elencam a importância do BFT para a sustentabilidade de sistemas de cultivo na aquicultura.

Além dos efeitos na remediação ambiental, os microrganismos presentes no BFT também são associados a redução de doenças nos cultivos. De acordo com observações recentes, administração combinada de diferentes cepas bacterianas do gênero *Bacillus* no BFT demonstrou ter efeitos positivos no crescimento e na sobrevivência de *Penaeus vannamei* juvenis, proporcionando uma proteção adicional contra a presença de

potenciais patógenos, como as bactérias do gênero *Vibrio* (Hussain *et al.*, 2021).

Diante do exposto, o BFT pode ser uma importante ferramenta na mitigação das principais barreiras do desenvolvimento de uma produção de pescados ambientalmente responsável, por se mostrar como uma técnica que proporciona um ambiente ecologicamente equilibrado. Essas características podem promover um incremento eficaz na biossegurança dos sistemas de cultivo frente a potenciais patógenos, essa técnica também não exige trocas regulares de água, proporcionando a contenção de possíveis surtos de doenças ao passo que minimiza o volume de água utilizado para o cultivo (Debbarma *et al.*, 2022).

Sistema de Reator em Bateladas (SBR)

Os sistemas denominados SBR, do inglês *Sequencing Batch Reactor*, são utilizados no tratamento de águas residuais, e se baseia no uso de biofilmes microbianos e suas funções ecológicas para a remediação das características físico-químicas de efluentes industriais, como os da indústria da aquicultura (Li *et al.*, 2020).

O SBR pode promover, de forma simultânea, processos de nitrificação e desnitrificação e sua eficiência depende, em muito, dos modos de operação que garantem as características ideais para o metabolismo bem-sucedido dos microrganismos. Em demonstração prática, Li *et al.* (2021) apontam a importância da regulação do fluxo de ar como forma de operação para esses sistemas, onde a aeração mecânica que supre com oxigênio o sistema pode determinar a aumento ou redução da oxidação dos compostos nitrogenados do meio, pela variação na concentração de oxigênio dissolvido (OD) fornecido para a comunidade microbiana presente.

Diferentes estratégias de operação podem favorecer o incremento de alguns grupos funcionais de microrganismos em detrimento de outros. Ma *et al.* (2015) relatam que um padrão intermitente de aeração utilizando uma concentração de OD igual a 0,15 mg/L pode reduzir a ação de bactérias oxidantes de nitrito (BON) em reatores em bateladas, uma vez que uma das exigências para o crescimento exponencial desse grupo de microrganismos exige elevadas concentrações de oxigênio, favorecendo o desenvolvimento de bactérias *Anammox*, estas últimas, para o contexto do estudo tratado pelos autores, seriam mais eficientes na remoção de nitrito nas águas residuais.

De acordo com o cenário supracitado, a modulação da comunidade microbiana é o fator crucial para o funcionamento adequado dessa tecnologia, ou seja, a eficiência na remoção de resíduos no tratamento de água para aquicultura, como os compostos nitrogenados, depende do entendimento da dinâmica dos grupos de microrganismos que são afetados pelos padrões de operação no sistema SBR (Li *et al.*, 2020).

Os princípios de SBR são aproveitados na aquicultura para além do tratamento final de águas residuárias. Estudos indicam a importância do entendimento do funcionamento do SBR para o aproveitamento em outras formas de aplicação e junção dos princípios de funcionamento com diferentes abordagens de manejos na aquicultura. Liu *et al.* (2016) mesclaram o uso de SBR com BFT e RAS (sistemas de recirculação aquícola) no cultivo de *Oreochromis niloticus*, onde, utilizando os sistemas de reatores em bateladas, conseguiram promover o desenvolvimento de BFT acoplados em RAS como forma de tratamento de água. Luo *et al.* (2013) também desenvolveram estudos que aplicaram os princípios básicos de funcionamento de SBR para promover o desenvolvimento de BFT no cultivo de *Scortum barcoo*. Boopathy, Kern e Corbin (2015) melhoraram a eficiência do tratamento de águas residuárias do cultivo de *Penaeus vannamei* utilizando um

consórcio bacteriano constituído por cepas probióticas do gênero *Bacillus* (*B. subtilis*, *B. megaterium*, *B. licheniformis*, *B. cereus*) para o desenvolvimento da comunidade microbiana do SBR. Essas e outras aplicações demonstram a versatilidade e desenvolvimento de uma abordagem perante os desafios em busca do desenvolvimento mais sustentável da aquicultura.

Perifíton

O perifíton consiste em uma complexa comunidade microbiana composta por grupos autotróficos e heterotróficos de microrganismos, a saber: bactérias, fungos, protozoários, microalgas, zooplâncton, dentre outros. Estes estão associados a uma matriz orgânica e aderidos a substratos submersos (Gatune; Vanreusel; De Torch, 2017). A aplicação na aquicultura é feita por meio da promoção de um ambiente com a presença de substratos (meio suporte) que permita a colonização dos microrganismos perifíton, os quais irão desempenhar importantes funções para os ecossistemas aquáticos (ambientes de cultivos), como a melhoria da qualidade de água e desempenho zootécnico dos organismos cultivados (Anand *et al.*, 2019).

Os substratos utilizados na aquicultura para a colonização dos microrganismos podem ser categorizados em dois tipos, os naturais e artificiais, os quais, a depender das suas composições químicas e físicas, podem determinar a constituição da comunidade microbiana aderida e eles, ou seja, a sucessão ecológica dos grupos perifíton (Cao *et al.*, 2019).

Uma vez que a colonização pelos microrganismos nos substratos ocorra, essa microbiota pode servir como base trófica para os ambientes de cultivo. Os organismos cultivados, por representarem níveis tróficos mais elevados, podem utilizar o perifíton como uma importante fonte de alimento e energia (Freitas *et al.*, 2022). Isso pode refletir diretamente em impactos positivos da economia da produção de organismos aquáticos, podendo possibilitar uma redução no uso de alimento artificial nos cultivos e uma vez que isso ocorra, há possibilidade da redução de custos de produção (David; Pinho; Garcia, 2018).

Em cultivos que ofereçam condições para o estabelecimento da comunidade perifíton, com a promoção de substratos e redução da densidade de estocagem dos animais cultivados, se observa um aumento nos desempenhos zootécnicos entre os ambientes com e sem a presença da comunidade perifíton. Chikorela, Chirwa e Mzengereza (2019), em um estudo sobre sistemas de cultivo de *Tilapia rendalli*, observaram que a biomassa perifíton desenvolvida nos sistemas de cultivos representava recursos alimentares satisfatórios à espécie avaliada, sendo possível notar um aumento significativo nos desempenhos de crescimento e produtividade de *T. rendalli*.

Os microrganismos perifíton também podem atuar como biofiltros em ambientes aquáticos, promovendo a melhoria da qualidade de água nos ambientes de cultivo. Por meio da biorremediação e biomineralização, o perifíton atua como uma camada bioativa que filtra substâncias potencialmente prejudiciais na água, como nutrientes em excesso (nitrogênio e fósforo), poluentes orgânicos e inorgânicos, metais pesados e patógenos. A estrutura tridimensional do perifíton facilita a captura dessas partículas e substâncias dissolvidas, promovendo um ambiente mais equilibrado (Biswas *et al.*, 2022). Esses mecanismos ocorrem devido a capacidade de adsorção, degradação microbiana e, conseqüentemente, a remoção de nutrientes da água, como os compostos nitrogenados

e fosfatos, reduzindo os impactos de eutrofização e outros problemas decorrentes do excesso de matéria orgânica (Ortiz-Estrada et al., 2020).

Na prática, quando em condições propícias para o desenvolvimento da comunidade perifítica, é observado o aumento da capacidade de autodepuração em ambientes aquáticos. A interceptação dos nutrientes pelos microrganismos biorremediadores tem sua área aumentada com a presença de substratos que promovem o desenvolvimento da biomassa perifítica, resultando na diminuição significativa de valores de compostos potencialmente prejudiciais, como a amônia e nitrito. Chen et al. (2017) observaram essas características avaliando os efeitos do perifíton na autodepuração de ecossistemas aquáticos. Os autores relataram redução de $1,16 \text{ mg L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ de amônia ionizada (NH_4^+) nos tratamentos com a presença do perifíton. Esses resultados são promissores para a aplicação prática do perifíton na aquicultura, considerando que níveis de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ de NH_4^+ já são prejudiciais aos animais cultivados.

De forma geral, o perifíton, quando presente nos cultivos de organismos aquáticos, desempenha um papel fundamental na biofiltração, contribuindo para a manutenção da qualidade da água e a sustentabilidade do sistema. O perifíton atua na biorremediação, removendo compostos nitrogenados, que podem ser prejudiciais aos organismos aquáticos. Esse conjunto de microrganismos também serve como fonte suplementar de alimento, melhorando a nutrição dos peixes e outros organismos cultivados. Assim, a integração do perifíton na aquicultura não apenas reduz a necessidade de intervenções químicas, mas também promove um ambiente mais equilibrado e resiliente, essencial para a saúde e o crescimento sustentável dos sistemas aquícolas.

Sistemas de Recirculação Aquícolas (RAS)

Os sistemas de recirculação aquícola – RAS, do inglês *Recirculating Aquaculture Systems*, são uma tecnologia avançada que permite a criação de peixes e outros organismos aquáticos em ambientes controlados com uma utilização significativamente menor de água em comparação com os sistemas convencionais de cultivo (Taufik et al., 2023). O princípio de funcionamento do RAS é minimizar o impacto ambiental através da otimização do uso de recursos.

O RAS possui como princípio base a biofiltração, sendo a característica mais importante, e a recirculação da água. A água dos tanques de cultivos é continuamente reciclada, como forma de manter as características físico-químicas em níveis apropriados para as exigências das espécies cultivadas, visando uma boa gestão dos recursos hídricos utilizados na aquicultura com a redução do consumo de água (Taufik et al., 2023). A água dos tanques de cultivo enriquecida com matéria orgânica, partículas sólidas e compostos nitrogenados passa por uma série de filtros para retenção e oxidação desses compostos e posteriormente retorna para os tanques de cultivo (Li et al., 2023).

Entre os filtros utilizados no RAS, os filtros mecânicos, que basicamente são instalações físicas preenchidos por areia, promovem a retenção e remoção de detritos, como fezes, restos de ração e outras partículas sólidas das águas provenientes dos cultivos (Lindholm-Lehto; Kiuru; Hannelin, 2022). Ao decorrer dessa etapa, padrões de manejo podem determinar a eficiência da filtração, como as características hidrodinâmicas dos sistemas, que incluem a velocidade do fluxo, pressão e turbulência da água (Zhao et al., 2022). Esses fatores podem influenciar na decomposição e movimento de partículas orgânicas relacionadas ao funcionamento geral do RAS.

Após a filtragem mecânica, a água passa por um sistema de filtragem biológica. Isso

envolve a utilização de uma comunidade microbiana, a qual transforma, por meio dos processos de nitrificação ou desnitrificação, os produtos metabólicos que podem ser prejudiciais as espécies cultivadas em produtos menos prejudiciais, como a oxidação de amônia (NH₃) e nitrito (NO₂⁻) a nitrato (NO₃⁻) (Yu *et al.*, 2021). Nessa fase há também a oxidação da matéria orgânica, reduzindo de forma eficaz os impactos negativos com as alterações dos parâmetros de qualidade de água, como níveis de matéria orgânica e partículas em suspensão, o que pode minimizar a pressão sobre os ecossistemas adjacentes às atividades de aquicultura (Jiang *et al.*, 2019).

O uso de sistemas RAS na aquicultura tem se mostrado um avanço significativo, oferecendo benefícios práticos que promovem a eficiência e sustentabilidade da produção. Estudos recentes demonstram que o RAS não só melhora a qualidade da água, como também aumenta a produtividade e reduz o impacto ambiental (Ahmed; Turchini, 2021; Aich *et al.*, 2020). Estudos como os de Zimmermann, Kiessling e Zhang (2022) e Azevedo *et al.* (2018) destacaram a capacidade dos RAS de reduzir em 80% a necessidade de renovação de água, minimizando o desperdício de recursos hídricos e a otimização no controle de parâmetros de qualidade relacionados a concentração de matéria orgânica, resultando em um crescimento mais rápido e com uma densidade de estocagem maior que a de sistemas convencionais de cultivos, respectivamente. Resultados como esses reforçam a importância do RAS como uma ferramenta fundamental para a evolução da aquicultura moderna.

Imobilização Biológica por Carvão Ativado (IBCA)

Imobilização biológica por carvão ativado (IBCA) é uma técnica promissora na aquicultura, proporcionando benefícios significativos para a qualidade da água, saúde e bem-estar dos organismos cultivados. Essa abordagem aproveita a capacidade de adsorção do carvão ativado somado com a atividade de microrganismos específicos, que permite um ambiente adequado para o desenvolvimento microbiano, selecionando grupos funcionais de interesse para remediação ambiental (Huang; Xiao; Chen, 2023).

O carvão ativado é um componente altamente poroso com uma grande área superficial, o que lhe confere uma alta capacidade de adsorver poluentes da água, como amônia, nitrito, metais pesados, compostos orgânicos, entre outros, os quais são atraídos e retidos pelas superfícies do carvão ativado (Wang *et al.*, 2017). Os microrganismos, por sua vez, como grupos de bactérias nitrificantes, podem ser imobilizados nas partículas de carvão ativado, onde a presença desses microrganismos colonizando as partículas de carvão possibilitam a degradação dos poluentes adsorvidos. (Gan *et al.*, 2020).

Para um funcionamento eficiente, a aplicação da abordagem IBCA na aquicultura requer monitoramento constante, ajustes e manutenção adequada do sistema. Além disso, a seleção de microrganismos adequados ao ambiente e aos organismos cultivados desempenha um papel crucial na eficácia da técnica. Trabalhos como o de Han *et al.* (2021) demonstram uma melhoria significativa na remoção dos íons magnésio, fosfato e amônio com aplicação de *Bacillus cereus* imobilizados em carvão ativado quando comparados aos tratamentos com células microbianas livres. Essa tecnologia também se mostrou promissora no tratamento de águas residuárias do cultivo de enguias. Huang, Xiao e Chen (2023) relataram a eficiência da cepa *Olivibacter jilunii* imobilizada em carvão ativado na remoção de compostos nitrogenados e fósforo total, os autores também relataram a eficiência dessa cepa para modulação da comunidade microbiana associada às partículas de carvão. Isso ocorre por meio da determinação dos padrões de

sucessão ecológica na comunidade associada as partículas de carvão ativado, determinando a presença de determinados grupos funcionais de microrganismos. Isso permite a seleção de grupos de importância prática para a manutenção do ambiente equilibrado e que supra as exigências da espécie cultivada. O impacto dessa modulação pode ser observado com a manutenção de processos de biorremediação que reduzem a necessidade de trocas de água, a presença de comunidades microbianas benéficas que podem competir com microrganismos patogênicos, e microrganismos como bactérias nitrificantes que são essenciais na conversão de compostos nitrogenados tóxicos (como amônia) em formas menos prejudiciais (como nitrato).

Promoção da Sustentabilidade na Aquicultura mediante o uso de Tecnologias Baseadas em Microrganismos

Entre as contribuições na promoção do desenvolvimento sustentável, os manejos baseados em microrganismos mostram impactos ambientais positivos por meio do controle de doenças (Bunnoy; Na-Nakorn; Srisapoome, 2019), melhoria da qualidade de água e biorremediação (Zhang *et al.*, 2022). Entre os impactos econômicos positivos, é relatada a redução de custos (Sakr *et al.*, 2015) e aumento da produtividade aquícola (Choi *et al.*, 2020). Já entre os impactos sociais, destacam-se o benefício indireto da sociedade com a redução de impactos ambientais (Sandoval-Vargas *et al.*, 2020) e a criação de empregos e segurança alimentar (Nasr-Allah *et al.*, 2020).

Esses avanços são alcançados por meio das seguintes contribuições com o uso dos microrganismos: atividade antagônica a diferentes patógenos reconhecidos para o cultivo de organismos aquáticos, melhoria direta na produtividade dos cultivos, incremento na imunidade dos animais cultivados, nitrificação, modulação da comunidade microbiana dos ambientes de cultivo, biorremediação e fonte de alimento vivo para as espécies cultivadas (Tabela 1).

Tabela 1 – Contribuições das tecnologias baseadas em microrganismos para o desenvolvimento sustentável da aquicultura.

Tecnologia	Função	Espécie alvo do cultivo	Fonte
BFT	Antagonismo a patógenos	<i>Oreochromis</i> spp.	Zabidi <i>et al.</i> (2021)
	Antagonismo a patógenos	<i>Penaeus vannamei</i>	Emerenciano, Arnold & Perrin (2022)
	Biorremediação	<i>Penaeus vannamei</i>	Emerenciano, Arnold & Perrin (2022)
	Incremento na imunidade	<i>Oreochromis</i> sp.	Zabidi <i>et al.</i> (2021)
	Modulação microbiana	<i>Penaeus vannamei</i>	Jiménez-Ordaz <i>et al.</i> (2021)
	Nitrificante	<i>Litopenaeus stylirostris</i>	Kurniawan <i>et al.</i> (2020)
	Aumento da Produtividade	<i>Macrobrachium rosenbergii</i>	Sandoval-Vargas <i>et al.</i> (2020)
IBCA	Biorremediação	<i>Anguilliformes</i>	Hosain <i>et al.</i> , (2021)
	Nitrificante	<i>Anguilliformes</i>	Huang, Xiao & Chen (2023)
Perifiton	Aumento da Produtividade	<i>Penaeus vannamei</i>	Ortiz-Estrada <i>et al.</i> (2021)
	Nitrificante	<i>Penaeus vannamei</i>	Ortiz-Estrada <i>et al.</i> (2021)
Probiótico	Alimento vivo	<i>Salvelinus alpinus</i>	Jiang <i>et al.</i> (2019)
	Antagonismo a patógenos	<i>Clarias macrocephalus</i>	Bunnoy, Na-Nakorn & Srisapoom (2019)
	Antagonismo a patógenos	<i>Oreochromis</i> spp.	Zabidi <i>et al.</i> (2021)
	Imunidade	<i>Crassostrea gigas</i>	Savin-Amador <i>et al.</i> , (2021)
	Modulação microbiana	<i>Pagrus major</i>	Jang <i>et al.</i> (2023)
	Nitrificante	<i>Sander lucioperca</i>	Yanes-Roca <i>et al.</i> (2020)
	Aumento da Produtividade	<i>Clarias macrocephalus</i>	Bunnoy, Na-Nakorn & Srisapoom (2019)
RAS	Biorremediação	-	Jiménez-Ordaz <i>et al.</i> (2021)
	Nitrificante	<i>Oreochromis niloticus</i>	Xavier <i>et al.</i> (2022)
SBR	Antagonismo a patógenos	Decapoda	Boopathy, Kern & Corbin (2015)
	Biorremediação	Decapoda	Boopathy, Kern & Corbin (2015)
	Nitrificante	Decapoda	Boopathy, Kern & Corbin (2015)

Fonte: Autor.

O antagonismo frente a patógenos e o incremento na imunidade das espécies cultivadas são mencionadas como impactos positivos no âmbito ambiental (controle de doenças) e econômico (redução de custos). A atividade antagonista é relatada em três das técnicas descritas, a saber: probióticos, BFT e SBR, e o incremento na imunidade em duas das técnicas: probióticos e BFT.

Tanto o antagonismo a patógenos como o incremento na imunidade das espécies cultivadas são importantes alternativas frente aos surtos de doenças relatados para a aquicultura. Doenças virais, bacterianas ou fúngicas são responsáveis por perdas significativas na produção e barreiras para o desenvolvimento da atividade aquícola

(Garza *et al.*, 2019). Nesse sentido, a aplicação de microrganismos benéficos ao ambiente de cultivo pode melhorar a saúde dos organismos aquáticos alvos do cultivo, podendo reduzir o uso de antibióticos e produtos químicos, contribuindo para a saúde dos animais e a qualidade do produto final que chega ao consumidor, mitigando as questões ambientais com a redução do uso de fármacos na aquicultura, assim como os problemas com a segurança alimentar (Wang *et al.*, 2019).

Ainda de acordo com a bibliografia consultada, foi observado efeitos positivos no incremento da produtividade no cultivo na aquicultura como resultado da aplicação de tecnologias como probióticos, BFT e perifíton. Diversos estudos apontam o incremento no desempenho zootécnico proporcionado pelo manejo de microrganismos nos cultivos (Casillas-Hernández *et al.*, 2023; Dima *et al.*, 2022; Golas; Potorski, 2022). Parâmetros como taxa de crescimento específico (Wu; Liu; Hu, 2021), imunidade (Dauda *et al.*, 2018), ganho de peso (Xavier *et al.*, 2022), fator de conversão alimentar (Won *et al.*, 2020) e sobrevivência (Hosain *et al.*, 2021) melhoram significativamente quando algumas das três tecnologias mencionadas são administradas. Dos efeitos positivos observados nos estudos destaca-se a produção de exoenzimas pelos microrganismos, que auxilia a quebra e absorção de nutrientes e impacta diretamente o metabolismo dos alimentos ofertados aos hospedeiros. O incremento nos parâmetros zootécnicos possibilita uma redução significativa no custo final por quilograma de pescado produzido, contribuindo com a sustentabilidade econômica da aquicultura, permitindo uma redução de custos operacionais ao passo que se aumenta a produtividade (Sakr *et al.*, 2015).

Impactos positivos na remediação ambiental também são relatados quando microrganismos são aplicados aos sistemas de cultivo. Os estudos que discutem sobre a aplicação de probióticos, BFT, perifíton, SBR, RAS e IBAC relatam grupos funcionais de microrganismos nitrificantes atuando na remoção de compostos nitrogenados na água de cultivo, assim como outros grupos de microrganismos que atuam na biorremediação de resíduos orgânicos.

Esses processos são de extrema importância à gestão hídrica da aquicultura. A aquicultura é uma atividade que requer volumes significativos de água para a condução do cultivo, e como consequência pode alterar a qualidade e disponibilidade desse recurso para outras atividades socioeconômicas ou para os ecossistemas naturais adjacentes (Portinho *et al.*, 2021). Segundo Monsalve e Quironga (2022), entre os impactos observados em ecossistemas que recebem efluentes enriquecidos com matéria orgânica de cultivos de camarão, estão as perdas de serviços ecossistêmicos e alterações de habitats, impactos esses visualizados com maior ocorrência nas áreas de manguezais na região costeira.

Entre os benefícios ambientais e econômicos que podem ser convertidos em sociais, seja pela redução dos impactos ambientais ou pela criação de empregos atrelado ao desenvolvimento dos cultivos, estão: a modulação na comunidade microbiana e o fornecimento de alimento vivo.

O uso de probióticos na aquicultura assim como BFT apresenta como uma das funções a modulação da microbiota aquática. Acredita-se que microrganismos oportunistas, introduzidos por meio da água de cultivo ou da ingestão de alimentos vivos, desempenham um papel crucial no aumento das taxas de mortalidade em algumas fases dos cultivos, como na larvicultura (Sanches-Fernandes *et al.*, 2022).

Diante dessa problemática, microrganismos usualmente aplicados aos probióticos e BFT são capazes de determinar os estágios de sucessão ecológica em filmes microbianos, por meio de diversas interações como competição direta por recursos e *quorum sensing*, essa última responsável pela comunicação entre microrganismos (Wang *et al.*, 2019).

Ainda nesse contexto, a presença de microrganismos que são aproveitados como alimento pelas espécies cultivadas melhorara a eficiência alimentar e auxilia na manutenção da qualidade de água, uma vez que possibilita uma menor oferta de alimento artificial. Zabidi *et al.* (2021) comentam sobre a importância do BFT como uma fonte de alimento alternativa, devido ao seu alto teor de proteínas (30 a 53%) e elevada diversidade de componentes microbianos. Napolitano *et al.* (2022) salientam a importância de alternativas frente ao uso de farinha e óleo de peixe na aquicultura, principais ingredientes de rações de alta qualidade nutricional, pois esses produtos além de sofrerem flutuações nos preços podem contribuir ainda com pressão nos recursos pesqueiros, representando impactos negativos para outros setores econômicos e ecossistemas naturais.

Isso não só reduz a pressão sobre os estoques pesqueiros, que muitas vezes são explorados em excesso para a produção de farinha e óleo de peixe, como também promove uma cadeia de produção mais sustentável e economicamente viável. Outro fator importante versa sobre a palatabilidade do alimento vivo, que é uma vantagem significativa na aquicultura, pois promove uma aceitação superior por parte dos organismos aquáticos em comparação com alimentos processados (Fantatto *et al.*, 2024). Organismos aquáticos, como peixes e camarões, frequentemente apresentam uma resposta alimentar mais robusta a presas vivas devido à sua composição natural e ao movimento, que simula condições de forrageamento naturais.

Diante dessa discussão, é importante ressaltar que o uso das tecnologias baseadas em microrganismos na aquicultura deve ser realizado com cuidado e monitoramento adequado, para garantir que não haja impactos negativos não intencionais, como a introdução de microrganismos invasivos ou a perturbação dos ecossistemas locais (Bezab, 2022).

Principais microrganismos aplicados na aquicultura

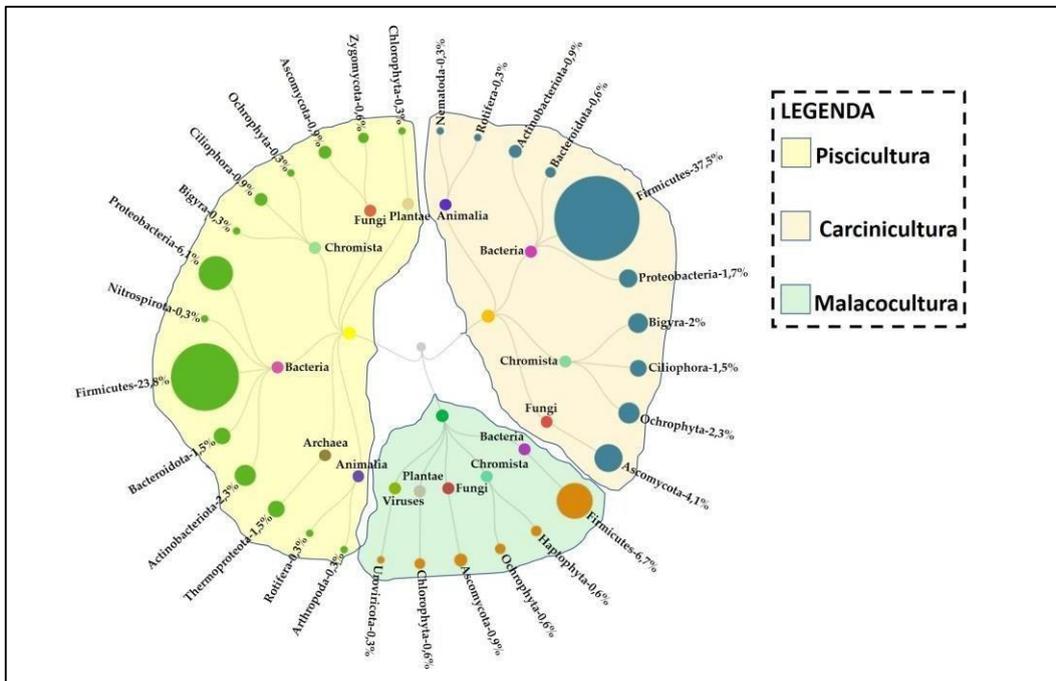
Segundo as informações na literatura, diferentes microrganismos estão sendo aplicados na aquicultura. Estes são descritos para os cultivos de crustáceos (carcinicultura), moluscos (malacocultura) e peixes (piscicultura) (Figura 3). Para esses cultivos se observa a descrição de táxons de microrganismos classificados em diferentes grupos eucariotos, como animais (Animalia), fungos (Fungi), eucariotos unicelulares (Chromista) e grupos procariotos como bactérias (Bacteria) e arqueias (Archaea) (Figura 3). A grande diversidade de microrganismos nos cultivos, é responsável por uma série de funções ecológicas que promovem a manutenção do equilíbrio trófico dos ecossistemas aquáticos e possibilita um ambiente que atenda as exigências das espécies cultivadas (Singh *et al.*, 2024).

Em uma análise geral, os microrganismos relatados nos estudos buscados foram pertencentes a 16 filos. Desses, cinco pertencem ao domínio Bacteria: Actinobacteriota, Bacteroidota, Firmicutes, Nitrospirota e Proteobacteria; um ao domínio Archaea: Thermoproteota; e os restantes ao domínio Eukarya, sendo mencionados três filos pertencentes ao reino Animalia: Arthropoda, Rotifera e Nematoda; quatro ao reino Chromista, Bigyra, Ciliophora, Haptophyta e Ochrophyta; dois ao reino Fungi: Ascomycota e Zygomycota; e um ao reino Plantae: Chlorophyta (Figura 3). Além desses grupos, na literatura analisada há menção da ocorrência de um grupo pertencente ao filo viral Uroviricota.

A maior abundância entre os filos mencionados nos diferentes cultivos pertence ao

grupo dos Firmicutes (Figura 3). Firmicutes é um filo bacteriano que inclui várias bactérias Gram-positivas, as quais algumas são descritas como formadoras de endósporos e bactérias ácido lácticas, reconhecidas por mostrarem maior resistência a colonização de habitats com condições adversas, como o trato gastrointestinal de uma grande variedade de hospedeiros, o qual pode representar um ambiente hostil com frequentes variações de pH e presença de enzimas digestivas e sais biliares (Diwan; Harke; Panche, 2023). Essas características elencam as bactérias Firmicutes como fortes candidatos para aplicação na aquicultura, principalmente no desenvolvimento de consórcios bacterianos para probióticos (Wang; Lin; Chang, 2023).

Figura 3 – Distribuição da proporção de diferentes grupos taxonômicos de microrganismos no cultivo de organismos aquáticos segundo os dados obtidos dos estudos analisados.



Alguns desses outros grupos recebem destaque pela diversidade de aplicação e importância para a aquicultura, como o filo Proteobacteria, o qual é constituído por bactérias Gram-negativas e atualmente constitui o maior e mais diverso filo bacteriano (Sha *et al.*, 2023). Na aquicultura, as proteobactérias podem ser descritas atuando como constituintes em tecnologias como probióticos, as quais demonstram resistirem às condições hostis do trato gastrointestinal de peixes, colonizando esses ambientes, ao passo que contribuem para a melhoria da imunidade dos hospedeiros (El-Saadony *et al.*, 2021). Esses autores evidenciam a capacidade de probióticos constituídos por bactérias das classes Alfa, Beta e Gammaproteobacteria de inibir potenciais patógenos, como *Tenacibaculum maritimum*, que causa doenças ulcerativas em peixes, além de apresentarem grandes quantidades de ácido eicosapentaenóico (EPA) e ácido docosahexaenóico (DHA), importantes grupos lipídicos poli-insaturados de cadeia longa necessários para manutenção da saúde dos animais. Em outra abordagem evidente, espécies de proteobactérias dos gêneros *Nitrobacter* e *Nitrosomonas* são aproveitadas em biofiltros em sistemas como RAS na aquicultura, convertendo compostos nitrogenados tóxicos em compostos menos tóxicos por meio de processos como a

nitrificação (Shitu *et al.*, 2020).

Já Actinobacteriota é constituído por bactérias Gram-positivas, principalmente filamentosas (Brock *et al.*, 2016). Na aquicultura se evidencia o uso dessas bactérias como fontes de biomoléculas, como enzimas e compostos antioxidantes, as quais podem ser aplicadas para um melhor controle de patógenos e doenças para os cultivos na aquicultura e, conseqüente, melhoria da produção aquícola (Vignesh *et al.*, 2019). Essas características os colocam como um potencial grupo na construção de consórcios microbianos probióticos.

Os filos Ciliophora e Ochrophyta na aquicultura são notadamente descritos compondo naturalmente comunidades microbianas nos ambientes de cultivos e em algumas técnicas de manejos como o BFT e perífíton. Também são utilizados na alimentação de alguns organismos aquáticos na fase larval. No BFT, diatomáceas como os gêneros *Thalassiosira*, *Chaetoceros* e *Navicula* e ciliados como *Epistylis* e *Vorticella* são importantes para formação e estabilidade dos flocos microbianos (Khanjani; Mohammadi; Emerenciano, 2022). No perífíton, esses mesmos gêneros também são descritos como importantes grupos dominantes, sendo destacados os gêneros bentônicos *Epistylis* e *Vorticella* como os mais abundantes e que atuam nos processos de sucessão ecológica e são correlacionados diretamente com a abundância bacteriana nessas comunidades (Giongo *et al.*, 2023). Para além dessas informações, as diatomáceas são evidenciadas quanto a sua importância nutricional para organismos aquáticos cultivados na aquicultura, alguns gêneros são reconhecidos como importantes depósitos de fucoxantinas e ácidos graxos poli-insaturados com elevado potencial nutracêutico (Bhattacharjya *et al.*, 2020). Esses autores também destacam as espécies *Chaetoceros muelleri* e *Thalassiosira weissflogii* como importantes promotores de crescimento e intensificadores de imunidade em camarões do gênero *Pennaeus*.

Grupos microbianos desempenham um papel crucial na aquicultura, oferecendo uma série de benefícios importantes. Eles promovem a degradação de resíduos orgânicos, ajudando a manter a qualidade da água e a reduzir a carga de poluentes no ambiente dos cultivos. Além disso, esses microrganismos contribuem para a biofiltração e a biorremediação, transformando substâncias tóxicas em formas menos prejudiciais. Sua presença é fundamental para a estabilidade e saúde do ecossistema aquático, promovendo o crescimento de organismos cultivados e melhorando a eficiência dos sistemas de produção. O uso estratégico de microrganismos também pode reduzir a necessidade de produtos químicos e antibióticos, favorecendo práticas de cultivo mais sustentáveis e ecoeficientes.

CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS

Diante dos desafios enfrentados pela indústria da aquicultura para alcançar um crescimento mais sustentável, com ênfase na conscientização e conservação da biodiversidade, observa-se que as tecnologias de manejo que incorporam microrganismos desempenham um papel crucial na realização desse objetivo. A compreensão aprofundada dessas tecnologias evidencia que, ao implementar estratégias baseadas em microrganismos, haverá uma redução dos impactos ambientais negativos ao passo que promoverá a resiliência dos sistemas aquícolas. Além disso, a utilização de microrganismos específicos se mostra eficaz no controle de patógenos e na promoção de um ambiente aquático ecologicamente equilibrado, podendo contribuir para o desenvolvimento sustentável da aquicultura.

Apesar dos avanços promissores observados, pode-se destacar a necessidade contínua de pesquisa e inovação nesta área, visando aprimorar as técnicas existentes e explorar novas abordagens.

Em última análise, a integração de tecnologias baseadas em microrganismos na aquicultura pode contribuir significativamente para a construção de sistemas mais sustentáveis, promovendo a saúde dos ecossistemas aquáticos e garantindo a viabilidade a longo prazo dessa importante atividade econômica. A integração de grupos microbianos pode representar perspectivas promissoras para o futuro, especialmente à medida que se avança em direção a práticas mais sustentáveis e eficientes. A crescente compreensão das interações microbianas e seu impacto no ambiente de cultivo abre portas para inovações na gestão de sistemas aquáticos, como o desenvolvimento de consórcios microbianos personalizados que otimizam a saúde dos organismos cultivados e a qualidade da água. Pesquisas futuras que busquem aperfeiçoar o monitoramento e análise dessas tecnologias, poderá permitir alcançar um equilíbrio mais preciso entre os microrganismos e o ambiente aquático, reduzindo a dependência de produtos químicos e promovendo práticas mais ecológicas. À medida que a pesquisa avança e novas tecnologias emergem, a aplicação de microrganismos na aquicultura se consolidará como uma estratégia vital para garantir a sustentabilidade e a produtividade no setor.

REFERÊNCIAS

Ahmad, A. L.; Chin, J. Y.; Mohd Harun, M. H. Z.; Low, S. C. Environmental impacts and imperative technologies towards sustainable treatment of aquaculture wastewater: A review. *W. P. E*, v. 424–425, p. 215–219, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102553>

Ahmed, N.; Turchini, G. M. Recirculating aquaculture systems (RAS): Environmental solution and climate change adaptation. *Journal of Cleaner Production*, v. 297, p. 02-14, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126604>

Aich, N.; Nama, S.; Biswal, A.; Paul, T. A review on recirculating aquaculture systems: challenges and opportunities for sustainable aquaculture. *Inno. Farm*, v. 5, p. 17-24, 2020.

Anand, P. S. S.; Balasubramanian, C. P.; Christina, L.; Kumar, S.; Biswas, G.; De, D.; Ghoshal, T. K.; Vijayan, K. K. Substrate based black tiger shrimp, *Penaeus monodon* culture: Stocking density, aeration and their effect on growth performance, water quality and periphyton development. *Aquaculture*, v. 507, n. October 2018, p. 411–418, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.04.031>

Anokyewaa, M. A.; Amoah, K.; Li, Y.; Lu, Y.; Kuebutornye, F. K. A.; Asiedu, B.; Seidu, I. Prevalence of virulence genes and antibiotic susceptibility of *Bacillus* used in commercial aquaculture probiotics in China. *Aquaculture Reports*, v. 21, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100784>

Azevedo, R. S.; Del'duca, A.; Rodrigues, E. M.; Freato, T. A.; Cesar, D. E. Theory of microbial ecology: Applications in constructing a recirculating aquaculture system. *Aquaculture Research*, v. 49, n. 12, p. 3898–3908, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/are.13860>

Barmshuri, M.; Pomahač, O.; Bourland, W. *Enchelyothrix muria* n. gen, n. sp., (Ciliophora, Litostomatea, Spathidiida), an extreme halotroph spathidiid from Maharloo Lake, Iran. *European Journal of Protistology*, v. 90, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejop.2023.126005>

Bezab, K. Importance of Microorganisms in Aquaculture. 2022. *Poult. Fish Wildl Sci.*, v. 10, n. 1000206, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.35248/2375-446X.22.10.206>

Bhattacharjya, R.; Kiran Marella, T.; Tiwari, A.; Saxena, A.; Kumar Singh, P.; Mishra, B. Bioprospecting Of Marine Diatoms *Thalassiosira*, *Skeletonema* And *Chaetoceros* For Lipids And Other Value-Added Products. *Bioresource Technology*, V. 318, 2020. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124073>

Biswas, G.; Kumar, P.; Ghoshal, T. K.; Das, S.; De, D.; Bera, A.; Anand, P. S. S.; Kailasam, M. Periphyton: A Natural Fish Food Item For Replacement Of Feed At Optimized Substrate Surface Area For Cost-Effective Production In Brackishwater Polyculture. *Aquaculture*, V. 561, 2022. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738672>

Boopathy, R.; Kern, C.; Corbin, A. Use Of Bacillus Consortium In Waste Digestion And Pathogen Control In Shrimp Aquaculture. *International Biodeterioration And Biodegradation*, V. 102, P. 159–164, 2015. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.02.001>

Brock, T.D. *et al.*, *Microbiologia De Brock*. 14^a Ed. Artmed, 2016.

Bunnoy, A.; Na-Nakorn, U.; Srisapoom, P. Probiotic effects of a novel strain, *Acinetobacter* Ku011th, on the growth performance, immune responses, and resistance against *Aeromonas hydrophila* of bighead catfish (*Clarias macrocephalus* Günther, 1864). *Microorganisms*, V. 7, N. 12, 2019. Disponível Em: <https://doi.org/10.3390/microorganisms7120613>

Cao, Y.; Zhang, N.; Sun, J.; Li, W. Responses of periphyton on non-plant substrates to different macrophytes under various nitrogen concentrations: a mesocosm study. *Aquatic Botany*, V. 154, N. June 2018, P. 53–59, 2019. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2019.01.003>

Casillas-Hernández, R.; Gonzalez-Galaviz, J. R.; Rodriguez-Anaya, L. Z.; Gil-Núñez, J. C.; Rodríguez-Jaramillo, M. Del C. Dietary use of methionine sources and *Bacillus amyloliquefaciens* Cect 5940 influences growth performance, hepatopancreatic histology, digestion, immunity, and digestive microbiota of *Litopenaeus vannamei* fed reduced fishmeal diets. *Animals*, V. 13, N. 1, 2023. Disponível Em: <https://doi.org/10.3390/ani13010043>

Chen, S.; Sun, X.; Tian, X.; Jiang, W.; Dong, X.; Li, L. Influence of ammonia nitrogen management strategies on microbial communities in biofloc-based aquaculture systems. *Science Of The Total Environment*, V. 903, 2023. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166159>

Chen, S.; Yang, G.; Lu, J.; Wang, L. Water quality in simulated eutrophic shallow lakes in the presence of periphyton under different flow conditions. *Environmental science and pollution research*, V. 25, N. 5, P. 4584–4595, 2018. Disponível Em: <https://doi.org/10.1007/S11356-017-0747-Y>

Chikorela, G.; Chirwa, E. R.; Mzengereza, K. Optimal stocking density of *Tilapia rendalli* (Boulenger, 1896) for increased growth in a periphyton based aquaculture system. *Journal of fisheries and aquatic science*, V. 14, N. 1, P. 33–38, 2019. Disponível Em: <https://doi.org/10.3923/jfas.2019.33.38>

- Chizhayeva, A.; Amangeldi, A.; Oleinikova, Y.; Alybaeva, A.; Sadanov, A. Lactic acid bacteria as probiotics in sustainable development of aquaculture. *Aquatic Living Resources*, V. 35, 2022. Disponível Em: <https://doi.org/10.1051/Alr/2022011>
- Choi, W.; Choi, C. W.; Son, D. B.; Jeong, B. C.; Kim, H. C.; Lee, H.; Suh, J. W. Effects of fermented kefir as a functional feed additive in *Litopenaeus vannamei* farming. *Fermentation*, V. 6, N. 4, 2020. Disponível Em: <https://doi.org/10.3390/Fermentation6040118>
- Da Rocha, A. F.; Barbosa, V. M.; Wasielesky, W.; Abreu, P. C.; Lisboa, V.; Cavalli, L.; Tesser, M. B. Water Quality And Juvenile Development Of Mullet *Mugil liza* In a biofloc system with an additional carbon source: dextrose, liquid molasses or rice bran. *Aquaculture Research*, V. 53, N. 3, P. 870–883, 2022. Disponível Em: <https://doi.org/10.1111/Are.15628>
- Da Silva, J. L. S.; De Carvalho, F. C. T.; Carvalho, R. M. M.; De Sousa, O. V. Periphyton use on microbial dynamics, water quality, and Nile tilapia growth in rearing tanks. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, V. 56, P. 1–10, 2021. Disponível Em: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.Pab2021.V56.01520>
- Dauda, A. B.; Romano, N.; Ebrahimi, M.; Teh, J. C.; Ajadi, A.; Chong, C. M.; Karim, M.; Natrah, I.; Kamarudin, M. S. Influence of carbon/nitrogen ratios on biofloc production and biochemical composition and subsequent effects on the growth, physiological status and disease resistance of African catfish (*Clarias gariepinus*) cultured in glycerol-based biofloc systems. *Aquaculture*, V. 483, P. 120–130, 2018. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/J.Aquaculture.2017.10.016>
- David, L. H. C.; Pinho, S. M.; Garcia, F. Improving the sustainability of tilapia cage farming in Brazil: an emergy approach. *Journal Of Cleaner Production*, V. 201, P. 1012–1018, 2018. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/J.Jclepro.2018.08.124>
- Debbarma, R.; Meena, D. K.; Biswas, P.; Meitei, M. M.; Singh, S. K. Portioning of microbial waste into fish nutrition via frugal biofloc production: a sustainable paradigm for greening of environment. *Journal Of Cleaner Production*, V. 334, 2022. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/J.Jclepro.2021.130246>
- Dima, M. F.; Sîrbu, E.; Patriche, N.; Cristea, V.; Coadă, M. T.; Plăcintă, S. Effects of multi-strain probiotics on the growth and hematological profile in juvenile carp (*Cyprinus carpio*, Linnaeus 1758). *Carpathian Journal Of Food Science And Technology*, V. 14, N. 2, P. 5–20, 2022. Disponível Em: <https://doi.org/10.34302/CRPJfst/2022.14.2.1>
- Diwan, A. D.; Harke, S. N.; Panche, A. N. Host-microbiome interaction in fish and shellfish: an overview. *Fish And Shellfish Immunology Reports*, V. 4, N. 10091, 2023. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/J.Fsirep.2023.100091>
- Emerenciano, M. G. C.; Arnold, S.; Perrin, T. Sodium metasilicate supplementation in culture water on growth performance, water quality and economics of indoor commercial-scale biofloc-based *Litopenaeus vannamei* culture. *Aquaculture*, V. 560, 2022. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/J.Aquaculture.2022.738566>
- Fantatto, R. R.; Mota, J.; Ligeiro, C.; Vieira, I.; Guilgur, L. G.; Santos, M.; Murta, D. Exploring sustainable alternatives in aquaculture feeding: the role of insects. *Aquaculture Reports*, V. 37, P. 02-13, 2024. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/J.Aqrep.2024.102228>
- Freitas, R.; Saldanha Da Silva, J. L.; Aguiar Carvalho, E.; Viana De Sousa, O. Influência de fatores ambientais na dinâmica do perifiton na aquicultura. *Aquatechnica Revista Iberoamericana De Acuicultura*, V. 4, N. 2, P. 85–100, 2022. Disponível Em: <https://doi.org/10.33936/At.V4i2.4825>

Gan, Y.; Ye, Z.; Zhao, Q.; Li, L.; Lu, X. Spatial Denitrification Performance and microbial community composition in an up-flow immobilized biofilter for nitrate micro-polluted water treatment. *Journal Of Cleaner Production*, V. 258, 2020. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120913>

Garza, M.; Mohan, C. V.; Rahman, M.; Wieland, B.; Häsler, B. The Role of infectious disease impact in informing decision-making for animal health management in aquaculture systems in Bangladesh. *Preventive Veterinary Medicine*, V. 167, P. 202–213, 2019. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2018.03.004>

Gatune, C.; Vanreusel, A.; De Troch, M. Sunlight And Sediment improve the environment of a litter biofilm-based shrimp culture system. *Aquaculture Environment Interactions*, V. 9, N. 1, P. 73–85, 2017. Disponível Em: <https://doi.org/10.3354/Aei00213>

Giongo, A.; Dos Anjos Borges, L. G.; Simão, T. L. L.; Eizirik, E.; Utz, L. R. P. Structure and dynamics of periphyton in a neotropical freshwater lake, with emphasis on ciliates and their relationships with bacterial taxa. *Microbial Ecology*, V. 86, N. 1, P. 187–199, 2023. Disponível Em: <https://doi.org/10.1007/S00248-022-02101-W>

Gołaś, I.; Potorski, J. A. The Influence of commercial feed supplemented with *Carnobacterium maltaromaticum* environmental probiotic bacteria on the rearing parameters and microbial safety of juvenile rainbow trout. *Animals*, V. 12, N. 23, 2022. Disponível Em: <https://doi.org/10.3390/ani12233321>

Guiry, M. D.; Moestrup, Ø.; Andersen, R. A. Validation of the phylum name Heterokontophyta. *Phycobank*, N. 297, V. 03, P. 1-5, 2023. Disponível Em: <http://Phycobank.Org/104049>

Han, Z.; Guo, N.; Yan, H.; Xu, Y.; Wang, J.; Zhao, Y.; Zhao, Y.; Meng, L.; Chi, X.; Zhao, H.; Tucker, M. E. Recovery of phosphate, magnesium and ammonium from eutrophic water by struvite biomineralization through free and immobilized *Bacillus cereus* Mrr2. *Journal Of Cleaner Production*, V. 320, 2021. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128796>

Hlordzi, V.; Kuebutornye, F. K. A.; Afriyie, G.; Abarike, E. D.; Lu, Y.; Chi, S.; Anokyewaa, M. A. The use of *Bacillus* species in maintenance of water quality in aquaculture: A Review. *Aquaculture Reports*, V. 18, N. 100503, P. 1-12, 2020. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100503>

Hosain, M. E.; Amin, S. M. N.; Arshad, A.; Kamarudin, M. S.; Karim, M. Effects of carbon sources on the culture of giant river prawn in biofloc system during nursery phase. *Aquaculture Reports*, V. 19, 2021. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100607>

Huang, J.; Xiao, Y.; Chen, B. Nutrients removal by *Olivibacter jilunii* immobilized on activated carbon for aquaculture wastewater treatment: ppk1 gene and bacterial community structure. *Bioresource Technology*, V. 370, 2023. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128494>

Hussain, A. S.; Mohammad, D. A.; Sallam, W. S.; Shoukry, N. M.; Davis, D. A. Effects of culturing the pacific white shrimp *Penaeus vannamei* In “Biofloc” Vs “Synbiotic” Systems On The Growth And Immune System. *Aquaculture*, V. 542, 2021. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736905>

- Jang, W. J.; Lee, K. B.; Jeon, M. H.; Lee, S. J.; Hur, S. W.; Lee, S.; Lee, B. J.; Lee, J. M.; Kim, K. W.; Lee, E. W. Characteristics And Biological Control Functions Of *Bacillus* sp. Pm8313 As A Host-Associated Probiotic In Red Sea Bream (*Pagrus major*) Aquaculture. *Animal Nutrition*, V. 12, P. 20–31, 2023. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2022.08.011>
- Jiang, J.; Liu, L.; Nie, W.; Chen, Y.; Wang, Z. Screening Of A High Biofloculant-Producing Bacterial Strain From An Intensive Fish Pond And Comparison Of The Bioflocculation Effects With *Rhodococcus erythropolis*. *Aquaculture Research*, V. 50, N. 4, P. 1047–1056, 2019. Disponível Em: <https://doi.org/10.1111/are.13977>
- Jiménez-Ordaz, F. J., Cadena-Roa, M. A., Pacheco-Vega, J. M., Rojas-Contreras, M., Tovar-Ramírez, D., & Arce-Amezquita, P. M. Microalgae And Probiotic Bacteria As Biofloc Inducers In A Hyper-Intensive Pacific White Shrimp (*Penaeus vannamei*) Culture. *Latin American Journal Of Aquatic Research*, V. 49, N. 1, P.155–168, 2021. Disponível Em: <https://doi.org/10.3856/vol49-issue1-fulltext-2442>
- Khanjani, M. H.; Mohammadi, A.; Emerenciano, M. G. C. Microorganisms In Biofloc Aquaculture System. *Aquaculture Reports*, V. 26, N. 101300, P. 1-17, 2022. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101300>
- Kim, S.; Jeon, H.; Han, H. S.; Hur, J. W. Evaluation Of *Bacillus albus* Smg-1 And *B. safensis* Smg-2 Isolated From Saemangeum Lake As Probiotics For Aquaculture Of White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture Reports*, V. 20, 2021. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100743>
- Kurniawan, K.; Wheeler, R.; Dann, L. M.; Mitchell, J. G. Investigating The Effects Of Urban Input On The Abundance And Diversity Of Potential Bio-Floc Forming Bacteria In The River Murray, South Australia. *Institute Of Physics Publishing*, V. 521, N. 012015, 2020. Disponível Em: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/521/1/012015>
- Li, H.; Cui, Z.; Cui, H.; Bai, Y.; Yin, Z.; Qu, K. Hazardous Substances And Their Removal In Recirculating Aquaculture Systems: A Review. *Aquaculture*, V. 569, N. 15, 2023. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739399>
- Li, L.; Wang, H.; Wang, S.; Xu, Y.; Liang, H.; Liu, H.; Sonnenschein, E. C. The Draft Genome Of The Centric Diatom *Conticribra weissflogii* (Coscinodiscophyceae, Ochrophyta). *Protist*, V. 172, N. 5–6, 2021. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.protis.2021.125845>
- Li, R.; Wang, B.; Niu, A.; Cheng, N.; Chen, M.; Zhang, X.; Yu, Z.; Wang, S. Application Of Biochar Immobilized Microorganisms For Pollutants Removal From Wastewater: A Review. *Science Of The Total Environment*, V. 837, 2022. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155563>
- Li, Z.; Yu, E.; Zhang, K.; Gong, W.; Xia, Y.; Tian, J.; Wang, G.; Xie, J. Water Treatment Effect, Microbial Community Structure, And Metabolic Characteristics In A Field-Scale Aquaculture Wastewater Treatment System. *Frontiers In Microbiology*, V. 11, 2020. Disponível Em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00930>
- Liberati, A.; Altman, D. G.; Tetzlaff, J.; Mulrow, C.; Gøtzsche, P. C.; Ioannidis, J. P. A.; Clarke, M.; Devereaux, P. J.; Kleijnen, J.; Moher, D. The Prisma Statement For Reporting Systematic Reviews And Meta-Analyses Of Studies That Evaluate Healthcare Interventions: Explanation And Elaboration. *Bmj (Clinical Research Ed.)*, V. 339, 2009. Disponível Em: <https://doi.org/10.1136/bmj.B2700>

Lindholm-Lehto, P. C.; Kiuru, T.; Hannelin, P. Control Of Off-Flavor Compounds In A Full-Scale Recirculating Aquaculture System Rearing Rainbow Trout *Oncorhynchus mykiss*. *Journal Of Applied Aquaculture*, V. 34, N. 2, P. 469–488, 2022. Disponível Em: <https://doi.org/10.1080/10454438.2020.1866733>

Liu, G.; Deng, Y.; Verdegem, M.; Ye, Z.; Zhu, S. Using Poly(B-Hydroxybutyrate-B-Hydroxyvalerate) As Carbon Source In Biofloc-Systems: Nitrogen Dynamics And Shift Of *Oreochromis niloticus* Gut Microbiota. *Science Of The Total Environment*, V. 694, 2019. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133664>

Liu, W.; Luo, G.; Tan, H.; Sun, D. Effects Of Sludge Retention Time On Water Quality And Bioflocs Yield, Nutritional Composition, Apparent Digestibility Coefficients Treating Recirculating Aquaculture System Effluent In Sequencing Batch Reactor. *Aquacultural Engineering*, V. 72–73, P. 58–64, 2016. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2016.04.002>

Lou, G., Yoram, A., Yun, P., Hong, T. Inorganic Nitrogen Dynamics In Sequencing Batch Reactors Using Biofloc Technology To Treat Aquaculture Sludge. *Aquaculture Engineering*, V. 52, P. 73-79, 2013.

Ma, B.; Bao, P.; Wei, Y.; Zhu, G.; Yuan, Z.; Peng, Y. Suppressing Nitrite-Oxidizing Bacteria Growth To Achieve Nitrogen Removal From Domestic Wastewater Via Anammox Using Intermittent Aeration With Low Dissolved Oxygen. *Scientific Reports*, V. 5, 2015. Disponível Em: <https://doi.org/10.1038/srep13048>

Monsalve, E. R.; Quiroga, E. Farmed Shrimp Aquaculture In Coastal Wetlands Of Latin America — A Review Of Environmental Issues. *Marine Pollution Bulletin*, V. 183, 2022. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113956>

Napolitano, G.; Venditti, P.; Agnisola, C.; Quartucci, S.; Fasciolo, G.; Muscari Tomajoli, M. T.; Geremia, E.; Catone, C. M.; Ulgiati, S. Towards Sustainable Aquaculture Systems: Biological And Environmental Impact Of Replacing Fishmeal With *Arthrospira platensis* (Nordstedt) (Spirulina). *Journal Of Cleaner Production*, V. 374, 2022. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133978>

Nasr-Allah, A.; Gasparatos, A.; Karanja, A.; Dompok, E. B.; Murphy, S.; Rossignoli, C. M.; Phillips, M.; Charo-Karisa, H. Employment Generation In The Egyptian Aquaculture Value Chain: Implications For Meeting The Sustainable Development Goals (SDGs). *Aquaculture*, V. 520, N. 15, 2020. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.734940>

Naylor, R.; Fang, S.; Fanzo, J. A Global View Of Aquaculture Policy. *Food Policy*, V. 116, 2023. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2023.102422>

Ortiz-Estrada, Á. M., Martínez-Porchas, M., Martínez-Córdova, L. R., Vargas-Albores, F., Burgos-Hernández, A., Scheuren-Acevedo, S. M., & Gollas-Galván, T. Bacterial Communities And Predicted Nitrogen Metabolism Of Heterotrophic- And Probiotic-Based Biofilms Used For Super-Intensive Indoor Shrimp Culture. *Aquaculture Research*, V. 52, N. 1, P. 334-344, 2021. Disponível Em: <https://doi.org/10.1111/are.14896>

Ottinger, M.; Clauss, K.; Kuenzer, C. Aquaculture: Relevance, Distribution, Impacts And Spatial Assessments - A Review. *Ocean & Coastal Management*, V.119, P. 244-266, 2016. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.10.015>

Partelow, S. *Et Al.* Aquaculture Governance: Five Engagement Arenas For Sustainability Transformation. *Current Opinion In Environmental Sustainability*, V. 65, P. 101379, 2023. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2023.101379>

Portinho, J. L.; Silva, M. S. G. M.; Queiroz, J. F.; De Barros, I.; Campos Gomes, A. C.; Losekann, M. E.; Koga-Vicente, A.; Spinelli-Araujo, L.; Vicente, L. E.; Rodrigues, G. S. Integrated Indicators For Assessment Of Best Management Practices In Tilapia Cage Farming. *Aquaculture*, V. 545, 2021. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737136>

Rossi, M.; Cedrola, F.; Júnio, R.; Dias, P.; Martinele, I.; D'agosto, M. Improved Silver Carbonate Impregnation Method For Rumen Ciliate Protozoa. *Rev. Bras. Zootec.*, V. 17, N. 01, P. 33-40, 2016.

Sakr, E. M.; Shalaby, S. M.; Wassef, E. A.; El-Sayed, A. F. M.; Moneim, A. I. A. Evaluation Of Periphyton As A Food Source For Nile Tilapia (*Oreochromis Niloticus*) Juveniles Fed Reduced Protein Levels In Cages. *Journal Of Applied Aquaculture*, V. 27, N. 1, P. 50–60, 2015. Disponível Em: <https://doi.org/10.1080/10454438.2014.967073>

Sam-On, M. F. S.; Mustafa, S.; Mohd Hashim, A.; Yusof, M. T.; Zulkifly, S.; Malek, A. Z. A.; Roslan, M. A. H.; Mohd Asrore, M. S. Mining The Genome Of *Bacillus velezensis* Fs26 For Probiotic Markers And Secondary Metabolites With Antimicrobial Properties Against Aquaculture Pathogens. *Microbial Pathogenesis*, V. 181, 2023. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2023.106161>

Sánchez-Díaz, R.; Molina-Garza, Z. J.; Cruz-Suárez, L. E.; Selvin, J.; Kiran, G. S.; Gómez-Gil, B.; Galaviz-Silva, L.; Ibarra-Gámez, J. C. Draft Genome Sequences Of *Bacillus pumilus* 36r Atnsal And *B. safensis* 13l Lobsal, Two Potential Candidate Probiotic Strains For Shrimp Aquaculture. *Journal Of Global Antimicrobial Resistance*, V. 31, P. 304–308, 2022. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.jgar.2022.10.002>

Sandoval-Vargas, L. Y.; Jiménez-Amaya, M. N.; Rodríguez-Pulido, J.; Guaje-Ramírez, D. N.; Ramírez-Merlano, J. A.; Medina-Robles, V. M. Applying Biofloc Technology In The Culture Of Juvenile Of *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818): Effects On Zootechnical Performance And Water Quality. *Aquaculture Research*, V. 51, N. 9, P. 3865–3878, 2020. Disponível Em: <https://doi.org/10.1111/are.14734>

Savin-Amador, M.; Rojas-Contreras, M.; Arce-Amézquita, P. M.; Rangel-Dávalos, C.; Vázquez-Juárez, R. Lactobacillus Strains Isolated From Oysters Improve The Production Of *Crassostrea gigas* Larvae. *Latin American Journal Of Aquatic Research*, V. 49, N. 4, P. 551–564, 2021. Disponível Em: <https://doi.org/10.3856/Vol49-Issue4-Fulltext-2672>

Sha, H.; Liu, Z.; Sun, Y.; Wang, Y.; Wang, X.; Zheng, J.; Ma, Y.; He, X. Leachate Leakage Enhances The Microbial Diversity And Richness But Decreases Proteobacteria And Weakens Stable Microbial Ecosystem In Landfill Groundwater. *Water Research*, V. 243, 2023. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120321>

Shitu, A.; Zhu, S.; Qi, W.; Tadda, M. A.; Liu, D.; Ye, Z. Performance Of Novel Sponge Biocarrier In Mbbf Treating Recirculating Aquaculture Systems Wastewater: Microbial Community And Kinetic Study. *Journal Of Environmental Management*, V. 275, 2020. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111264>

Singh, T.; Mandal, A.; Holeyappa, S. A.; Khairnar, S. O.; Tyagi, A. Growth Performance And Physiological Responses Of Striped Catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*) Under Different Carbohydrates Supplemented Biofloc Aquaculture Systems. *Aquaculture*, V. 579, 2024. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740252>

Taufik, M.; Tuan Ismail, T. I.; Manan, H.; Ikhwanuddin, M.; Abdul Salam, A. I.; Abdul Rahim, A. I.; Ishak, A. N.; Kamaruzzan, A. S.; Draman, A. S.; Kasan, N. A. Synergistic Effects Of Recirculating Aquaculture System (Ras) With Combination Of Clear Water, Probiotic And Biofloc Technology: A Review. *Aquaculture And Fisheries*, (In Press), 2023. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2023.07.006>

Valenti, W. C.; Kimpara, J. M.; Preto, B. De L.; Moraes-Valenti, P. Indicators Of Sustainability To Assess Aquaculture Systems. *Ecological Indicators*, V. 88, P. 402–413, 2018. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.068>

Vignesh, A.; Ayswarya, S.; Gopikrishnan, V.; Radhakrishnan, M. Bioactive Potential Of Actinobacteria Isolated From The Gut Of Marine Fishes. *Indian Journal Of Geo Marine Sciences*, V. 48, N. 08, P. 1280-1285, 2019.

Wang, A.; Ran, C.; Wang, Y.; Zhang, Z.; Ding, Q.; Yang, Y.; Olsen, R. E.; Ringø, E.; Bindelle, J.; Zhou, Z. Use Of Probiotics In Aquaculture Of China: A Review Of The Past Decade. *Fish And Shellfish Immunology*, V. 86, P. 734-755, 2019. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.12.026>

Wang, B.; Wang, Z.; Jiang, Y.; Tan, G.; Xu, N.; Xu, Y. Enhanced Power Generation And Wastewater Treatment In Sustainable Biochar Electrodes Based Bioelectrochemical System. *Bioresour Technol*, V. 241, P. 841–848, 2017. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.155>

Wang, Y. C.; Lin, H. Y.; Chang, P. S. Evaluation Of Probiotic Potentiality Of Gm-Lac (*Lactobacillus* and *Bifidobacterium*) In Juvenile Asian Seabass *Lates calcarifer*. *Aquaculture Reports*, V. 30, 2023. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101615>

Weitzman, J.; Filgueira, R.; Grant, J. Dimensions Of Legitimacy And Trust In Shaping Social Acceptance Of Marine Aquaculture: An In-Depth Case Study In Nova Scotia, Canada. *Environmental Science And Policy*, V. 143, P. 1–13, 2023. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.02.019>

Won, S.; Hamidoghli, A.; Choi, W.; Park, Y.; Jang, W. J.; Kong, I. S.; Bai, S. C. Effects Of *Bacillus subtilis* Wb60 And *Lactococcus lactis* On Growth, Immune Responses, Histology And Gene Expression In Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Microorganisms*, V. 8, N. 1, 2020. Disponível Em: <https://doi.org/10.3390/microorganisms8010067>

Wu, P. S.; Liu, C. H.; Hu, S. Y. Probiotic *Bacillus safensis* Npust1 Administration Improves Growth Performance, Gut Microbiota, And Innate Immunity Against *Streptococcus iniae* In Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Microorganisms*, V. 9, N. 12, 2021. Disponível Em: <https://doi.org/10.3390/microorganisms9122494>

Xavier, M.; Júnior, W. W.; Hostins, B.; Bequé, E.; Krummenauer, D. The Use Of A Flocculant Additive And Its Effect On Biofloc Formation, Nitrification, And Zootechnical Performance During The Culture Of Pacific White Shrimp *Penaeus vannamei* (Boone, 1931) In A Bft System. *Latin American Journal Of Aquatic Research*, V. 50, N. 2, P. 181–196, 2022. Disponível Em: <https://doi.org/10.3856/Vol50-Issue2-Fulltext-2777>

Yanes-Roca, C.; Leclercq, E.; Vesely, L.; Malinovskyi, O.; Policar, T. Use Of Lactic Acid Bacteria During Pikeperch (*Sander lucioperca*) Larval Rearing. *Microorganisms*, V. 8, N. 2, 2020. Disponível Em: <https://doi.org/10.3390/Microorganisms8020238>

Yu, J.; Wang, Y.; Xiao, Y.; Li, X.; Zhou, L.; Wang, Y.; Du, T.; Ma, X.; Li, J. Investigating The Effect Of Nitrate On Juvenile Turbot (*Scophthalmus maximus*) Growth Performance, Health Status, And Endocrine Function In Marine Recirculation Aquaculture Systems. *Ecotoxicology And Environmental Safety*, V. 208, 2021. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/J.Ecoenv.2020.111617>

Zabidi, A.; Yusoff, F. M.; Nurul Amin, S. M.; Yaminudin, N. J. M.; Puvanasundram, P.; Karim, M. M. A. Effects Of Probiotics On Growth, Survival, Water Quality And Disease Resistance Of Red Hybrid Tilapia (*Oreochromis* spp.) Fingerlings In A Biofloc System. *Animals*, V. 11, N. 12, 2021. Disponível Em: <https://doi.org/10.3390/Ani11123514>

Zhao, Q.; Gu, H.; Wang, W.; Hu, Y. Gastrointestinal Tract Microbial Community Of *Babylonia areolata* And Its Diversity Are Closely Correlated With The Outbreak Of Disease. *Aquaculture Research*, V. 53, N. 5, P. 1636–1648, 2022. Disponível Em: <https://doi.org/10.1111/Are.15694>

Zhou, P.; Chen, W.; Zhu, Z.; Zhou, K.; Luo, S.; Hu, S.; Xia, L.; Ding, X. Comparative Study Of *Bacillus amyloliquefaciens* X030 On The Intestinal Flora And Antibacterial Activity Against *Aeromonas* Of Grass Carp. *Frontiers In Cellular And Infection Microbiology*, V. 12, 2022. Disponível Em: <https://doi.org/10.3389/Fcimb.2022.815436>

Zigel, P., Agasild, H., Karus, K., Buholce, L., Nõges, T. Importance Of Ciliates As Food For Fish Larvae In A Shallow Sea Bay And A Large Shallow Lake. *Euro. Jour. Prost.*, V. 67, P. 59-70, 2019. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/J.Ejop.2018.10.004>

Zimmermann, S.; Kiessling, A.; Zhang, J. The Future Of Intensive Tilapia Production And The Circular Bioeconomy Without Effluents: Biofloc Technology, Recirculation Aquaculture Systems, Bio-Ras, Partitioned Aquaculture Systems And Integrated Multitrophic Aquaculture. *Reviews In Aquaculture*, V. 15, P. 22-31, 2023. Disponível Em: <https://doi.org/10.1111/Raq.12744>