

**TECNOLOGIA DE BIOFLOCOS NA AQUICULTURA: FUNDAMENTOS,
AVANÇOS E IMPLICAÇÕES PARA O DESEMPENHO E A SAÚDE ANIMAL**

**BIOFLOC TECHNOLOGY IN AQUACULTURE: FUNDAMENTALS, ADVANCES,
AND IMPLICATIONS FOR PERFORMANCE AND ANIMAL HEALTH**

**TECNOLOGÍA DE BIOFLOCOS EN LA ACUICULTURA: FUNDAMENTOS,
AVANCES E IMPLICACIONES PARA EL DESEMPEÑO Y LA SALUD ANIMAL**



10.56238/revgeov17n3-042

Jéssica Antonia Cardoso Mendes

Doutoranda pelo Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (PPG)

Instituição: Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

E-mail jessica.cardoso.zotec@gmail.com

Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-1327-5797>

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/5603659611947943>

Thallynson Emanuel Francelino da Silva

Granduando em Zootecnia

Instituição: Universidade Federal do Maranhão - Campus Chapadinha (UFMA/CCCH)

E-mail: Thallynson.emanoel@discente.ufma.br

Orcid: <http://orcid.org/0009-0004-3641-7278>

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/6816027244741532>

Karuane Saturnino da Silva Araújo

Doutora pelo Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (PPG)

Instituição: Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

E-mail: karuanea@gmail.com

Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-3122-6868>

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/1115832947713877>

Ricardo Souza Oliveira

Doutorando no Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (PPG)

Instituição: Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

E-mail ricardossouzaoliveira@gmail.com

Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-6955-3442>

Silmara Cristina Silva de Aquino

Mestra pelo Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (PPG)

Instituição: Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

E-mail silmara180190@gmail.com

Orcid: <http://orcid.org/0000-0001-7680-9699>

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/0880971839589180>



RESUMO

A tecnologia de bioflocos (Biofloc Technology – BFT) tem se destacado como uma alternativa sustentável para a intensificação da aquicultura, ao integrar o controle da qualidade da água, a reciclagem de nutrientes e a melhoria do desempenho zootécnico dos organismos cultivados. Esta revisão teve como objetivo sintetizar os principais avanços científicos relacionados aos fundamentos, ao manejo e às aplicações da BFT, com ênfase nos impactos sobre a microbiota aquática, a saúde animal e a eficiência produtiva. Foram abordados os princípios de formação dos bioflocos, destacando a importância do controle da relação carbono:nitrogênio, da aeração contínua e do monitoramento dos parâmetros físico-químicos da água para a estabilidade do sistema. Adicionalmente, discutiu-se o papel dos bioflocos como fonte nutricional complementar, contribuindo para o aproveitamento de nutrientes, melhora da conversão alimentar e estímulo das respostas imunológicas. Avanços recentes, como o uso de bioflocos líquidos formulados com cepas selecionadas de bactérias benéficas, especialmente *Bacillus subtilis*, produzidos em biofábricas, também foram analisados, evidenciando vantagens em relação ao bioflocos convencional, como maior padronização microbiológica e rápida colonização do sistema. De modo geral, a BFT apresenta elevado potencial para promover sistemas aquícolas mais eficientes, resilientes e ambientalmente sustentáveis, desde que associada a um manejo técnico adequado e a uma abordagem integrada entre nutrição, microbiologia e qualidade da água.

Palavras-chave: Bioflocos. Aquicultura Sustentável. Microbiota Aquática. Desempenho Zootécnico. Saúde Animal.

ABSTRACT

Biofloc technology (BFT) has emerged as a sustainable alternative for the intensification of aquaculture by integrating water quality control, nutrient recycling, and improved zootechnical performance of cultured organisms. This review aimed to synthesize the main scientific advances related to the fundamentals, management, and applications of BFT, with emphasis on its impacts on aquatic microbiota, animal health, and productive efficiency. The principles of biofloc formation were addressed, highlighting the importance of controlling the carbon-to-nitrogen ratio, continuous aeration, and monitoring physicochemical water parameters to ensure system stability. Additionally, the role of bioflocs as a complementary nutritional source was discussed, contributing to improved nutrient utilization, enhanced feed conversion, and stimulation of immune responses. Recent advances, such as the use of liquid bioflocs formulated with selected strains of beneficial bacteria, especially *Bacillus subtilis*, produced in biofactories, were also analyzed, demonstrating advantages over conventional biofloc systems, including greater microbiological standardization and rapid system colonization. Overall, BFT presents high potential to promote more efficient, resilient, and environmentally sustainable aquaculture systems, provided it is associated with proper technical management and an integrated approach involving nutrition, microbiology, and water quality.

Keywords: Animal Health. Aquatic Microbiota. Bioflocs. Sustainable Aquaculture. Zootechnical Performance.

RESUMEN

La tecnología de bioflocos (BFT) se ha convertido en una alternativa sostenible para intensificar la acuicultura al integrar el control de la calidad del agua, el reciclaje de nutrientes y la mejora del rendimiento zootécnico de los organismos cultivados. Esta revisión tuvo como objetivo sintetizar los principales avances científicos relacionados con los fundamentos, el manejo y las aplicaciones de la BFT, con énfasis en su impacto en la microbiota acuática, la salud animal y la eficiencia productiva. Se abordaron los principios de la formación de bioflocos, destacando la importancia del control de la relación carbono:nitrógeno, la aireación continua y el monitoreo de los parámetros físicoquímicos del agua para la estabilidad del sistema. Además, se discutió el papel de los bioflocos como fuente

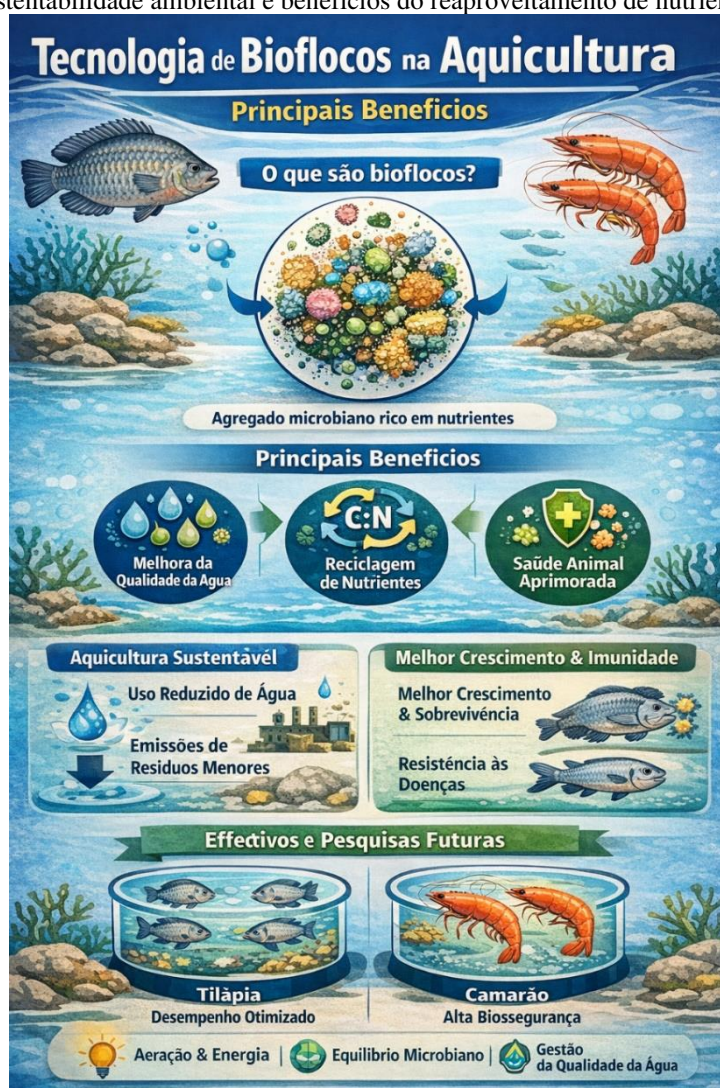


nutricional complementar, contribuindo a la utilização de nutrientes, la mejora de la conversión alimenticia y la estimulación de la respuesta inmunitaria. También se analizaron avances recientes, como el uso de bioflocs líquidos formulados con cepas seleccionadas de bacterias benéficas, especialmente *Bacillus subtilis*, producidas en biofábricas, destacando las ventajas sobre los bioflocs convencionales, como una mayor estandarización microbiológica y una rápida colonización del sistema. En general, la tecnología de biofloc (BFT) presenta un alto potencial para promover sistemas acuícolas más eficientes, resilientes y ambientalmente sostenibles, siempre que se asocie a una gestión técnica adecuada y un enfoque integrado entre nutrición, microbiología y calidad del agua.

Palabras clave: Bioflocs. Acuicultura Sostenible. Microbiota Acuática. Rendimiento Zootécnico. Salud Animal.

RESUMO VISUAL

Figura 1. Visual abstract da revisão sobre tecnologia de bioflocos na aquicultura. O esquema destaca os principais conceitos, incluindo produção de peixes e camarões, eficiência do sistema produtivo, promoção da imunidade animal, sustentabilidade ambiental e benefícios do reaproveitamento de nutrientes.



Fonte: Jessica Antonia Cardoso Mendes, 2026.



1 INTRODUÇÃO

A aquicultura destaca-se como o setor de produção de proteína animal que mais cresce no mundo, desempenhando papel estratégico na segurança alimentar global. Estimativas da FAO indicam que mais de 50% do pescado consumido mundialmente já é oriundo da aquicultura, impulsionada pela crescente demanda por alimentos de alto valor biológico e pela limitação da pesca extrativa (FAO, 2022). No entanto, a intensificação dos sistemas aquícolas, embora necessária para atender à demanda crescente, tem sido acompanhada por desafios ambientais significativos, especialmente relacionados ao uso excessivo de água, à geração de efluentes ricos em nutrientes e à degradação da qualidade ambiental (Ahmad et al., 2017).

Nesse contexto, torna-se imperativo o desenvolvimento e a adoção de tecnologias produtivas sustentáveis que conciliem alta produtividade com menor impacto ambiental. A tecnologia de bioflocos (Biofloc Technology – BFT) surge como uma das estratégias mais promissoras para a aquicultura moderna, por integrar princípios microbiológicos, físico-químicos e nutricionais em um sistema de cultivo de baixa ou nenhuma renovação de água (Avnimelech, 2009; Bossier & Ekasari, 2017). Esse sistema baseia-se na manipulação da relação carbono:nitrogênio (C:N), estimulando o crescimento de comunidades microbianas heterotróficas capazes de assimilar compostos nitrogenados tóxicos, como a amônia, transformando-os em biomassa microbiana reutilizável (Crab et al., 2007; Hargreaves, 2013).

O biofoco pode ser definido como um agregado complexo composto por bactérias heterotróficas, algas, protozoários, rotíferos, zooplâncton, partículas orgânicas e resíduos alimentares, formando um ecossistema integrado e dinâmico (Hargreaves, 2013). Além de atuar como um biofiltro natural, o biofoco funciona como uma fonte nutricional suplementar rica em proteína microbiana, lipídios, vitaminas e compostos bioativos, contribuindo para a melhoria do desempenho zootécnico e da eficiência alimentar dos organismos cultivados (Emerenciano et al., 2017; Kuhn et al., 2010).

Entretanto, a eficiência da tecnologia de bioflocos está diretamente relacionada à espécie cultivada, uma vez que nem todos os organismos aquáticos apresentam adaptações fisiológicas e morfológicas adequadas para tolerar elevadas concentrações de sólidos suspensos e aproveitar nutricionalmente os agregados microbianos (Hargreaves, 2013; Panigrahi et al., 2019a). Espécies com hábito alimentar filtrador ou detritívoro, elevada tolerância a variações nos compostos nitrogenados e capacidade de suportar altas densidades de estocagem, como tilápias e alguns camarões peneídeos, apresentam melhor desempenho em sistemas BFT (Emerenciano et al., 2013; Wasielesky et al., 2014).

Do ponto de vista ambiental e produtivo, a BFT possibilita significativa economia de água, podendo reduzir em até 90% a necessidade de renovação hídrica quando comparada aos sistemas convencionais de cultivo em água clara (Avnimelech, 2014; Vicente, 2014). Além disso, o reaproveitamento interno de nutrientes minimiza o descarte de efluentes, reduz custos operacionais com ração e contribui para a sustentabilidade da atividade aquícola (Crab et al., 2012; Jamal et al., 2020).



Outro aspecto de destaque da tecnologia de bioflocos é seu impacto positivo na sanidade dos organismos cultivados. Diversos estudos demonstram que a microbiota associada ao biofoco exerce efeito probiótico natural, estimulando o sistema imunológico, reduzindo a incidência de patógenos e aumentando a resistência a doenças bacterianas e virais (Ray et al., 2011; Samocha et al., 2012; Panigrahi et al., 2020). Esse efeito está associado tanto à competição microbiana quanto à presença de metabólitos bioativos produzidos pelas comunidades bacterianas dominantes, especialmente do gênero *Bacillus* (Bossier & Ekasari, 2017).

Apesar dos avanços significativos, a tecnologia de bioflocos ainda apresenta desafios técnicos e científicos, incluindo a necessidade de elevado aporte energético para aeração, controle rigoroso dos parâmetros físico-químicos da água, manejo adequado dos sólidos suspensos e compreensão mais aprofundada das interações microbianas envolvidas nos ciclos do nitrogênio e do carbono (Sharma et al., 2018; Reddy, 2019). Ademais, lacunas permanecem quanto à padronização dos parâmetros operacionais e à avaliação integrada dos efeitos do BFT sobre desempenho, saúde e sustentabilidade em diferentes espécies aquícolas.

Diante disso, torna-se essencial ampliar o conhecimento científico sobre os mecanismos biológicos, microbiológicos e ambientais envolvidos na tecnologia de bioflocos, de modo a otimizar seu uso e consolidá-la como uma alternativa viável e sustentável para a aquicultura intensiva. Estudos que integrem qualidade da água, dinâmica microbiana, sanidade e desempenho produtivo são fundamentais para o avanço dessa tecnologia e para o desenvolvimento de sistemas aquícolas mais eficientes, resilientes e ambientalmente responsáveis. Assim, Este trabalho integra, de forma sistemática, aspectos microbiológicos, ambientais, nutricionais e sanitários da tecnologia de bioflocos, enfatizando a relação entre manejo da qualidade da água, ciclos biogeoquímicos e desempenho produtivo, além de discutir desafios práticos ainda pouco explorados.

1.1 ESTRATÉGIA DE BUSCA

Foi realizada uma revisão abrangente da literatura científica utilizando bases de dados reconhecidas, incluindo Google Scholar, PubMed, Web of Science, Scopus e SciELO. A coleta das informações concentrou-se em publicações científicas disponíveis principalmente em língua inglesa, publicadas no período de 2018 a 2025, com o objetivo de reunir estudos atualizados e relevantes sobre a tecnologia de bioflocos aplicada à aquicultura.

A busca bibliográfica foi conduzida utilizando as seguintes palavras-chave, de forma isolada ou combinada: *biofloc technology*, *bioflocs*, *BFT*, *carbon–nitrogen ratio*, *microbial community*, *water quality*, *heterotrophic bacteria*, *nutrient recycling*, *fish performance*, *shrimp performance*, *immunology*, *intestinal morphology*, *health*, *survival rate*, *welfare* e *sustainable aquaculture*.



Os critérios de inclusão consideraram: (i) o delineamento experimental dos estudos, (ii) a aplicação da tecnologia de bioflocos em sistemas de produção aquícola, (iii) os efeitos da BFT sobre a qualidade da água, (iv) os impactos sobre o desempenho zootécnico dos organismos cultivados, (v) as respostas imunológicas e fisiológicas dos animais, (vi) a composição e dinâmica da comunidade microbiana dos bioflocos e (vii) a contribuição da tecnologia para a sustentabilidade dos sistemas de cultivo. Foram incluídos artigos originais, revisões, comunicações curtas e estudos experimentais conduzidos em escala laboratorial ou comercial.

Assim, foram selecionados estudos que abordassem os princípios de formação e manejo dos bioflocos, incluindo o controle da relação carbono:nitrogênio, a dinâmica microbiana, a ciclagem de nutrientes e os efeitos da tecnologia sobre parâmetros de qualidade da água, como amônia, nitrito, nitrato, sólidos suspensos e oxigênio dissolvido. Adicionalmente, foram considerados trabalhos que avaliaram o consumo dos bioflocos como fonte nutricional suplementar e seus efeitos sobre a digestibilidade, eficiência alimentar e crescimento de peixes e camarões.

Também foram analisados estudos que investigaram os efeitos da tecnologia de bioflocos sobre a saúde e o bem-estar dos organismos cultivados, incluindo parâmetros imunológicos, histológicos, taxa de sobrevivência, resistência a patógenos e respostas ao estresse, permitindo uma abordagem integrada dos aspectos produtivos, ambientais e sanitários da BFT na aquicultura.

2 ASPECTOS CONCEITUAIS E FUNDAMENTAIS DA TECNOLOGIA DE BIOFLOCOS

2.1 PONTOS DE DESTAQUE SOBRE O BIOFLOCOS

A aquicultura é a fonte ideal de proteínas animais, que podem ser produzidas com o menor custo e muito rápido. O aumento significativo na área da produção de peixes e camarões em expansão vertical e horizontal leva a um aumento excessivo de poluentes para o meio ambiente (Ahmad et al. 2017). As aplicações da tecnologia de bioflocos (BFT) são um dos melhores sistemas de aquicultura e contribuem para a realização do desenvolvimento sustentável e dos objetivos desejados para um ambiente limpo (Bossier e Ekasari 2017).

A BFT tem vários conceitos, onde podemos citar o conceito definido por Hargreaves (2013), onde definiu o biofloco como "uma mistura de algas, bactérias, protozoários e outros tipos de matéria orgânica particulada, como fezes e ração não consumida, além de alguns zooplânctons e nematóides, formados juntos para ser um ecossistema integrado e interdependente. Além disso, os sistemas de bioflocos podem operar com troca de água zero ou baixa (0,5% a 1% ao dia) sob alta densidade de estocagem de peixes ou camarões, garantindo que seja um sistema ideal para economizar troca de água (Hargreaves 2013).



No entanto, é importante relatar que nem todas as espécies de peixes são adequados para espécies de peixes e camarões, pois algumas espécies não toleram a baixa qualidade da água devido à alta concentração de sólidos (Hargreaves 2013; Panigrahi et al. 2019a).

Tabela 1. Espécies aquáticas fisiologicamente adaptadas ou não adaptadas à digestão da proteína microbiana proveniente do consumo de bioflocos.

Adaptados ao consumo de bioflocos	Autores	Não adaptados ao consumo de bioflocos	Autores
Carpa (<i>Cyprinus carpio</i>)	Emerenciano et al. (2013)	Robalos híbridos (<i>Dicentrarchus</i> spp.)	Hargreaves (2013)
Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Emerenciano et al. (2013)	Camarão gigante de água doce (<i>Macrobrachium rosenbergii</i>)	Hargreaves (2013)
Bagre-do-canal (<i>Ictalurus punctatus</i>)	Hargreaves (2013)	—	—
Camarão-rosa (<i>Farfantepenaeus brasiliensis</i>)	Hargreaves (2013)	—	—
Camarão-tigre-gigante (<i>Penaeus monodon</i>)	Panigrahi et al. (2019a)	—	—
Camarão-de-perna-branca-do-Pacífico (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	Emerenciano et al. (2013)	—	—
Camarão-de-salmoura (<i>Artemia</i> spp.)	Emerenciano et al. (2013)	—	—

Fonte: Autores.

Assim, alguns pontos devem ser levados em consideração, alguns deles são em relação ao próprio animal, exemplo: 1. Hábito alimentar filtrador e/ou detritívoro, neste sentido haveria um melhor aproveitamento dos agregados microbianos, com consumo direto dos bioflocos e conseqüentemente redução na conversão alimentar e economia com rações; 2. o parato morfológico adequado: como rastros branquiais mais desenvolvidos nos peixes e maxilípedes diferenciados nos camarões, onde facilitaria a apreensão das partículas suspensas e/ ou aderidas em algum substrato (biofilme); 3. Tolerantes a níveis intermediários dos compostos nitrogenados: visando um melhor enfrentamento dos picos de amônia e nitrito que normalmente ocorrem durante os ciclos produtivos; 4. Tolerantes aos sólidos suspensos: presentes nos sistemas e que devem ser monitorados e, se necessário, controlados, visando o bem-estar da espécie e a manutenção da qualidade de água do cultivo; 5. Tolerante a altas densidades de estocagem: item importante para uma correta formação dos bioflocos e ajudando a viabilizar o sistema; 6. Preferencialmente de ciclo curto de produção: “fugindo” dos riscos inerente de qualquer cultivointensivo; 7. Possuir bom valor de mercado: justificando os altos custos de investimento necessários para o sistema.

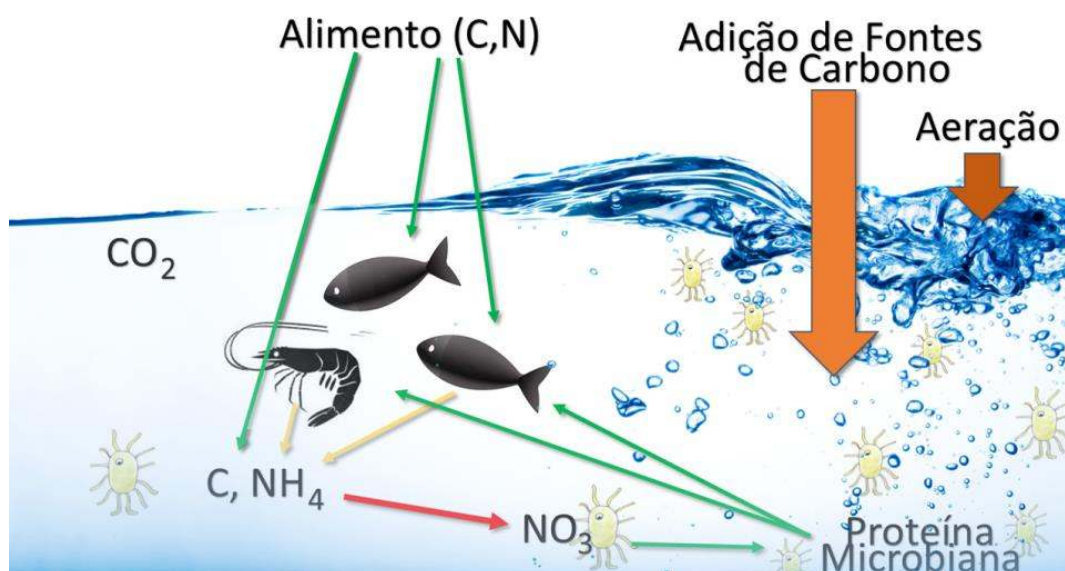


2.2 FATORES BIOLÓGICOS E FÍSICOQUÍMICOS RELACIONADOS A TECNOLOGIA BFT

Dentre as tecnologias sustentáveis para produção de peixes, a tecnologia de BFT, é um sistema alternativo que possibilita criação em locais com restrição de espaço e de disponibilidade de água (VICENTE, 2014). Como relato anteriormente, trata-se de um sistema fechado de cultivo e que para uma mesma quantidade de produção, quando comparado ao sistema tradicional (tanque escavado) com água clara, economiza cerca de 50 mil litros de água/dia, reduz custos com captação de água, elimina problemas com descarte de efluentes e possibilita economia no fornecimento de ração (AVNIMELECH, 2014; WASIELESKY, 2014).

A BFT, é um sistema inovador para a aquicultura e apresenta várias vantagens em relação a produção em água limpa. A BFT aproveita a sinergia entre fatores biológicos e físico-químicos para promover um ambiente sustentável e eficiente, como pode ser observado na figura 1. Biologicamente, o sistema se baseia em comunidades microbianas que transformam resíduos metabólicos, como amônia, em biomassa utilizável, aumentando a qualidade da água e fornecendo proteína suplementar para os organismos cultivados. Fisicoquimicamente, o controle preciso de parâmetros como oxigênio dissolvido, pH, temperatura, e a relação carbono: nitrogênio é essencial para manter o equilíbrio microbiano e evitar desequilíbrio no sistema. Essa abordagem reduz o uso de ração comercial e minimiza impactos ambientais, combinando inovação com sustentabilidade (Jamal et al., 2020)

Figura 1. Bioflocos na piscicultura



Legenda: Representação esquemática do funcionamento da tecnologia de bioflocos (BFT) em sistemas aquícolas. A partir da oferta de alimento, ocorre a liberação de carbono (C) e nitrogênio (N) na água, principalmente na forma de amônia (NH_4^+). A adição de fontes externas de carbono, associada à aeração contínua, estimula o crescimento de bactérias heterotróficas, que assimilam os compostos nitrogenados dissolvidos e os convertem em biomassa microbiana (proteína microbiana). Essa biomassa forma os bioflocos, que podem ser consumidos pelos organismos cultivados, promovendo a reciclagem de nutrientes, a melhoria da qualidade da água e o aumento da eficiência nutricional do sistema. O processo contribui ainda para a redução da concentração de compostos tóxicos, como amônia e nitrato (NO_3^-), favorecendo a estabilidade ambiental e o desempenho zootécnico dos animais.

Fonte: Diego Junqueira Stevanato e Vitor Gomes Rossi, 2021



Desta forma, uma piscicultura bem-sucedida depende inteiramente das qualidades físico-químicas e biológicas da água. Conseqüentemente, o controle da qualidade da água é necessário para o gerenciamento ideal dos sistemas de produção (Sharma et al. 2018).

Em um estudo realizado por Emerenciano et al. (2017), verificando os principais fatores da qualidade da água analisados em sistemas BFT e suas faixas ótimas e/ou normais detectadas, demonstrou que as faixas ideais de Temperatura são de 28–30° é geralmente ideal para espécies em regiões tropicais, assim como ph de 6,8 a 8,0 , Oxigênio dissolvido (OD), superior a 4,0 mg/l e, no mínimo, 60% de saturação, Salinidade de 0 a 50 ppt, mas depende da espécie, alcalinidade superior a 100 mg/L, nitrito inferior a 1 mg/L, nitrato de 0,5 mg/l a 20 mg/l, já os sólidos totais em suspensão, o nível ideal é inferior a 500 mg/L, visto que o excesso de sólidos totais verificados em cones de Imhof, contribuem para a ingestão de OD por oclusão branquial e comunidade heterotrófica.

Outros fatores que interferem na formação adequada e estabilidade do sistema de BFT, são os fatores biológicos. Assim é muito importante a interação entre os microrganismos no sistema para que ocorra o ciclo dos compostos adequadamente e desenvolvimento do flocos. Dentre estes temas: 1. Bactérias heterotróficas: Transformam compostos nitrogenados (como amônia) em biomassa bacterianas. 2. Cianobactérias e algas: Podem estar presentes em menor proporção, contribuindo com oxigenação (em sistemas iluminados). 3. Protozoários e rotíferos: Atuam como consumidores secundários, enriquecendo a diversidade trófica. 4. Equilíbrio Microbiano: 5. A dominância de bactérias heterotróficas é essencial para a conversão eficiente de compostos nitrogenados em biomassa útil. A manutenção desse equilíbrio evita o crescimento excessivo de organismos indesejados, como patógenos. 6. Interação com os Organismos Criados: ss bioflocos fornecem nutrientes adicionais, melhorando a qualidade nutricional da dieta dos animais aquáticos e promovem a imunidade natural ao estimular o sistema imunológico com probióticos naturais. Um ponto crucial no sistema é a relação Carbono:Nitrogênio (C:N), a proporção crítica (12:1 a 15:1) para estimular o crescimento bacteriano heterotrófico, assim fontes de carbono (como melão ou açúcar) são adicionadas para atingir essa relação.

O sucesso ocorre, quando a integração dos fatores é satisfatória, assim deve-se maximizar a conversão de resíduos em biomassa útil, prevenir a degradação da qualidade da água e promover a saúde e o crescimento dos organismos aquáticos.

2.3 ATUAÇÃO DO CICLO DO NITRÔNIO

A suspensão microbiana ativa, funciona como uma teia de alimentação heterotrófica, formam uma comunidade microbiana intensiva para degradação e assimilação de resíduos orgânicos que se acumulam na lagoa em condições de troca de água limitada ou nenhuma, que substituiu o biofiltro



externo convencional ou sistemas de alta troca de água na aquicultura (Hopkins et al. 1993; Avnimelech et al. 1994).

No BFT, a comunidade de microrganismos atuam na regulação da qualidade da água por meio do controle do nitrogênio, resultando no aprimoramento das proteínas microbianas, que funcionam como fonte de nutrição para as espécies aquícolas. Além disso, os microrganismos no BFT desempenham um papel vital na biossegurança, inibindo o crescimento dos microrganismos patogênicos (Emerenciano et al. 2017).

A fonte de carbono, deve ser verificada ao iniciar o produção do flocos, um estudo realizado por Elayaraja et al., (2020), demonstrou que o BFT à base de açúcar mascavo, uma fonte potencial de carbono, forneceu um ambiente ecológico para melhor assimilação bacteriana e nitrificação, resultando em melhor qualidade da água. Abakari et al. (2020b), observaram que a BFT causou melhoria da qualidade da água por meio da assimilação bacteriana heterotrófica ativa e nitrificação, resultando em níveis aprimorados de NO^{-3} e nitrogênio total.

Um ponto importante, para que estes microrganismos se desenvolvem satisfatoriamente, precisa-se respeitar a relação C:N. Estudos sugerem que a proporção entre nitrogênio (N) e carbono (C) na água durante o período de aquicultura deve ser controlada pela implementação de tecnologia de bioflocos bem sucedida (Avnimelech 2009). Assim, o BFT é um sistema integrado, e a qualidade deste sistema, que depende da composição biótica do biofoco e da quantidade de sólidos em suspensão, é verificada com cones de Imhoff. Para verificar a composição biótica dos bioflocos, a água coletada do sistema é reservada em cones de Imhoff para precipitação. Após 15 minutos de precipitação, podemos ver os agregados de bactérias heterotróficas, algas, zooplâncton, e um emaranhado incluindo protozoários, rotíferos, diatomáceas, ração não consumida, outras matérias orgânicas mortas e as partículas suspensas, que refletem a qualidade do biofoco (Sharma et al. 2018).

Alguns aditivos para a água podem melhorar o sistema BFT; por exemplo, a adição de carboidratos para reduzir a amônia tóxica, um açúcar mascavo, melaço de cana, podem promover a concentração de microrganismos dentro do biofoco, bem como a multiplicação de bactérias heterotróficas para aumentar a produção de proteínas e reduzir o crescimento de cepas patogênicas (Panigrahi et al. 2019b).

Quase 50-70% dos alimentos estão na água ou no sedimento, resultando na deterioração da qualidade da água devido ao desequilíbrio de carbono e nitrogênio no tanque de cultura. Nesses tanques de peixes e camarões, a tecnologia de bioflocos pode melhorar a qualidade da água, equilibrando a relação carbono e nitrogênio no sistema de aquicultura por processos biológicos de fotossíntese e/ou nitrificação (Crab et al. 2012).



Foi relatado que a proporção ideal de carbono e nitrogênio no biofloco poderia ajudar a manter a qualidade da água para criar camarão de perna branca do Pacífico em menor salinidade para cultura interior (Jamal et al. 2020).

2.4 COMO OCORRE O CICLO DO NITROGENIO ?

No BFT, as bactérias heterotróficas são os membros mais comuns da comunidade microbiana que formam a estrutura dos bioflocos. Simultaneamente, os microrganismo nitrificadores quimioautotróficos são menos numerosos do que outros tipos de bactérias, o que, por sua vez, leva a menos saída de nitrogênio para o ecossistema. Já as actinobactérias estimulam a formação de bioflocos e podem ser necessárias para benefícios secundários de proteção contra microrganismos patogênicos que podem atacar o peixe. Porém, as actinobactérias podem aumentar o acúmulo de sabor estranho na carne e na água do peixe (Liu et al. 2019). Desta forma, deve-se ter cautela ao escolher os aditivos que serão utilizados no processo de formação do bioflocos, alguns aditivos como glicose, amido e glicerol são preferidos como fontes de carbono para cultivar o biofloco ao ar livre, pois as fontes de carbono afetando a estrutura e composição da comunidade microbiana, e o número de bactérias patogênicas, por exemplo, *Vibrio* spp. (Wei et al. 2020).

Os microrganismos heterotróficos são frequentemente induzidos a assimilar nitrogênio amoniacal total, resultando no acúmulo de níveis comparativamente mais altos de nitrato em um sistema de cultura de tecnologia de bioflocos (Azim et al. 2008; Nootong et al. 2011; Chen et al. 2019). Além disso, bactérias nitrificantes em bioflocos, como oxidantes de amônia, oxidam amônia em nitrito e, em seguida, oxidantes de nitrito, oxidam nitrito em nitrato (Chen et al. 2006). Tanto o nitrito quanto o nitrato podem danificar o tecido branquial dos animais aquáticos, resultando em problemas que vão além de problemas respiratórios, podendo aumentar a ocorrência de mortalidade dos peixes (Lin e Chen 2001; Kuhn et al. 2010b).

Assim, alguns fatores como temperatura, salinidade, alcalinidade, pH, oxigênio dissolvido, sólidos sedimentados, sólidos suspensos totais e ortofosfato devem ser monitorados de forma contínua e prática na tecnologia de bioflocos, conforme mostrado na Tabela II (Emerenciano et al. 2017). A melhor qualidade da água no BFT resulta de uma interação complexa entre diferentes parâmetros da água. Assim, a demanda por mais pesquisas neste campo está aumentando dia a dia para entender melhor essa complexa interação de parâmetros de qualidade da água para desenvolver os métodos de produção da aquicultura.

Etapas do Ciclo do Nitrogênio no Biofloco:

1. **Adição de Nitrogênio à Água (Excreção e Resíduos):** A principal fonte de nitrogênio em sistemas de bioflocos é o alimento oferecido aos organismos aquáticos. Após o consumo, parte



do nitrogênio do alimento é excretada pelos peixes, geralmente na forma de amônia (NH_3), ou é liberada pela decomposição de matéria orgânica não consumida (Hargreaves, 2013).

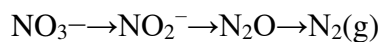
2. **Conversão da Amônia em Nitrito (Nitrificação – Primeira Fase):** Nesta fase as bactérias nitrificantes autotróficas, como as do gênero *Nitrosomonas*, oxidam a amônia (NH_3) ou o íon amônio (NH_4^+ , dependendo do pH) para nitrito (NO_2^-). Pode-se ser demonstrado a partir da seguinte equação:



3. **Conversão do Nitrito em Nitrato (Nitrificação – Segunda Fase):** outra classe de bactérias autotróficas, como as do gênero *Nitrobacter*, oxida o nitrito em nitrato (NO_3^-), uma forma menos tóxica para os peixes (Emerenciano et al. 2017). Como pode ser observada na reação: $\text{NO}_2^- + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$

4. **Incorporação do Nitrogênio nos Bioflocos (Assimilação):** Microrganismos heterotróficos utilizam o nitrogênio inorgânico (amônia e nitrato) como fonte de nutrientes, formando biomassa microbiana (bioflocos). Esses bioflocos podem ser consumidos pelos organismos cultivados, funcionando como uma fonte proteica suplementar.

5. **Perdas de Nitrogênio (Desnitrificação e Saída):** Em condições anaeróbicas, bactérias desnitrificantes podem converter nitrato (NO_3^-) em nitrogênio gasoso (N_2), que é liberado na atmosfera, reduzindo a concentração total de nitrogênio no sistema, como pode ser observado na seguinte reação:



6. **Interação com o Manejo:** O manejo de carbono é essencial para o equilíbrio do ciclo do nitrogênio no biofoco. A adição de fontes de carbono (como melaço ou farinha de trigo) estimula os microrganismos heterotróficos, promovendo a assimilação do nitrogênio em bioflocos e reduzindo a amônia disponível na água (Avnimelech, 2009).

Assim, a importância para o Sistema, está no controle da Amônia, visto que, altas concentrações de amônia são tóxicas para os organismos aquáticos. O ciclo do nitrogênio no biofoco regula esses níveis. Na produção de Alimento Natural, pois os bioflocos são ricos em proteína e melhoram a conversão alimentar e na sustentabilidade, onde há a redução do desperdício de nutrientes e a necessidade de trocas de água.

2.5 ATUAÇÃO DO CICLO DO CARBONO

O biofoco é gerado pela adição de carbono orgânico e alta aeração, o que reduz o nitrogênio tóxico dissolvido na água, onde os processos internos de tratamento de resíduos são enfatizados e incentivados (Liu et al. 2019). Embora seja uma tecnologia potencial, os dados sobre os parâmetros operacionais do BFT ainda são inadequados. Portanto, há uma necessidade urgente de mais pesquisas



aplicadas sobre os parâmetros operacionais do BFT para otimizar o sistema, como efeitos imunológicos, produção de padrões moleculares associados a micróbios e reciclagem de nutrientes (Bossier e Ekasari 2017).

As informações disponíveis demonstram que o ciclo do carbono no sistema de bioflocos é fundamental para o sucesso desse sistema de produção aquícola sustentável. Ele envolve a conversão de matéria orgânica e compostos nitrogenados em biomassa microbiana, que serve como alimento adicional para os organismos cultivados, como peixes ou camarões (Avnimelech, 2009).

O ciclo do carbono pode ser descrito pelas seguintes etapas principais: 1. Introdução de carbono no sistema: o carbono é introduzido no sistema por meio de ração e fontes suplementares de carbono orgânico (como melão, farinha de trigo, ou glicose). Essa adição é estratégica para ajustar a relação carbono:nitrogênio (C:N), favorecendo o crescimento microbiano e a conversão de amônia tóxica em biomassa. 2. Outro ponto importante é a Decomposição de matéria orgânica. Resíduos da ração e fezes dos animais cultivados liberam carbono orgânico e nitrogênio no sistema. Bactérias heterotróficas consomem esse carbono e o utilizam como fonte de energia para seu crescimento, ao mesmo tempo que assimilam nitrogênio na forma de amônia. 3. A Conversão microbiana no ambiente de bioflocos, onde o carbono é usado por microrganismos, principalmente bactérias heterotróficas, para formar novos tecidos celulares. Isso resulta na remoção de compostos nitrogenados e na formação de bioflocos, que consistem em agregados de bactérias, algas, protozoários, e matéria orgânica particulada (Crab et al. 2007).

Assim a utilização do bioflocos, torna-se rica em proteínas e outros nutrientes, que são consumidos pelos organismos aquáticos cultivados, promovendo reciclagem de nutrientes no sistema. Essa reciclagem reduz a dependência de ração externa e melhora a sustentabilidade do cultivo (Hargreaves, 2013).

Neste contexto também podemos citar o ciclo respiratório, onde a respiração microbiana no sistema converte carbono orgânico em dióxido de carbono (CO₂), que pode ser utilizado pelas algas fotossintéticas presentes no bioflocos. Essas algas, por sua vez, produzem oxigênio durante a fotossíntese, contribuindo para a oxigenação do ambiente. Assim como a exportação de carbono, pois parte do carbono acumulado no bioflocos pode ser removida mecanicamente para evitar acúmulo excessivo de matéria orgânica, que pode comprometer a qualidade da água. Isso ocorre através de sifonamento ou remoção de flocos sedimentados (Kunh, 2010).

2.6 SANIDADE DE BIOFLOCOS

As bactérias heterotróficas como *Bacillus* spp. usados como probióticos na forma líquida ou em pó, usados para formação de bioflocos na água, podem contribuir para melhorar a imunidade dos animais aquáticos.



Panigrahi et al. (2020), observaram que a produção de camarão branco indiano em sistema de BFT, aumentou significativo na imunidade contra microorganismos patogênicos, resultando em melhor crescimento, sobrevivência e produtividade do camarão. Da mesma forma, melhorias recentes nos sistemas dominados por bioflocos, superintensivos e de descarga limitada para a criação de camarões de pernas brancas do Pacífico garantem maior biossegurança contra surtos de doenças virais e bacterianas (Samocha et al. 2012; Prangnell et al. 2020).

Em um estudo, os polifenóis isolados da castanha (*Castanea sativa*) foram suplementados em BFT para o cultivo de tilápia-do-nilo. Isso resultou em uma imunidade mucosa e sérica aumentada contra *Streptococcus agalactiae* patogênico (Van Doan et al. 2020).

Tabela 2. Uso da tecnologia de bioflocos (BFT) na cultura de tilápias

Espécies de peixe	Tecnologia utilizada	Efeito na água de cultura	Efeitos no peixe	Referências
Tilápia-do-nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	BFT à base de açúcar mascavo	Assimilação bacteriana aprimorada e nitrificação; imobilização de amônia aumentada	Melhor crescimento e sobrevivência; maior imunidade à infecção por <i>A. hydrophila</i> ; maior capacidade antioxidante	Elayaraja et al. (2020)
Tilápia-do-nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	BFT à base de biochar	Redução do total de sólidos suspensos; assimilação bacteriana heterotrófica ativa e nitrificação; níveis aumentados de NO-3 e nitrogênio total	Nenhum efeito negativo notável do biochar no crescimento e no desempenho fisiológico.	Abakari et al. (2020b)
Tilápia-do-nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) geneticamente melhorada)	Cultura em tanque de FRP com bactérias probióticas isoladas de BFT	Enriquecimento de probióticos <i>Bacillus infantis</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>Exiguobacterium profundum</i> e <i>B. megaterium</i>	Maior crescimento e sobrevivência; parâmetros imunológicos melhorados	Menaga et al. 2020)
Tilápia-do-nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	BFT à base de polifenóis de castanha		Melhor desempenho de crescimento; melhor sobrevivência; imunidade mucosa e sérica aumentada contra <i>Streptococcus agalactiae</i> patogênico	Van Doan et al. 2020)
Tilápia-do-nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	BFT com prebióticos e probióticos	Redução da concentração de nitrito	Maior taxa de crescimento específico, ganho de peso e peso final; melhores parâmetros hematológicos	(Laice et al. 2021)

Fonte: Autores.



Um ponto importante, são as estruturas das comunidades bacterianas na água de cultura e no trato digestivo do camarão *L. vannamei*, foi observado por Kim et al., (2021) que essas comunidades dependem dos fatores ambientais no sistema BFT utilizando como fonte de carbono a farinha de trigo. Além disso, o sistema BFT mostrou a capacidade de recuperação adequada e gestão sustentável da qualidade da água sem qualquer suplementação de bicarbonato de sódio.

Também foi observado por Menaga et al., (2020) que as bactérias probióticas *Bacillus infantis*, *Bacillus subtilis*, *Exiguobacterium profundum* e *Bacillus megaterium* isoladas de BFT foram capazes de melhorar o desempenho de crescimento e a taxa de sobrevivência de tilápias do Nilo geneticamente melhoradas enquanto cultivadas em tanque de volume de água de 500 L. No entanto, *B. subtilis* e *B. megaterium* mostraram melhor capacidade antioxidante e imunológica do que as duas cepas restantes.

Um ponto de atenção é em relação ao descarte da água do sistema BFT. Gallardo-Collí et al. (2019), avaliou o cultivo intensivo de tilápia-do-nilo estabelecido usando água descarregada de sistemas de bioflocos durante o período de crescimento, e observou que não houve efeitos negativos na sobrevivência dos peixes e no desempenho. Visto que, a água de descarga do sistema BFT pode ser uma boa fonte de uma comunidade microbiana saudável.

Foi relatado que os microrganismos benéficos, responsáveis pela conversão de nitrogênio, apresentaram o crescimento diversificado e denso na coluna d'água de sistemas de produção intensivos e de troca mínima. Além disso, uma parte da microbiota benéfica estava ligada a partículas de bioflocos, e a densidade dessas partículas poderia ser regulada até certo ponto para aumentar a produção (Ray et al. 2011).

2.7 DESAFIOS NA PRODUÇÃO DE BIOFLOCOS

O bioflocos para produção de camarão precisa de aprimoramento dos parâmetros físico-químicos da água para a faixa ideal, sendo essencial para o crescimento adequado de peixes e camarões (Sharma et al. 2018).

Um estudo relatou que a tainha (*Mugil liza*) foi capaz de reduzir o total de sólidos suspensos originários da cultura de camarão (*Litopenaeus vannamei*) em um sistema BFT pelo consumo de sólidos, mas sua cultura no mesmo tanque causou a diminuição do crescimento de camarão (Holanda et al. 2020). Além disso, na cultura combinada de tainha e camarão, a comunidade bacteriana nitrificante pode ser modificada pela aplicação de inóculo de bioflocos (Holanda et al. 2020).

Existem muitas fraquezas no sistema de bioflocos, como a necessidade urgente de alta aeração e movimento da água, o que leva ao aumento da necessidade de energia para mistura e aeração. Além disso, várias desvantagens também são relatadas para o BFT, como redução do tempo de resposta devido ao consumo de oxigênio dissolvido na água e taxas de respiração mais altas, poluição potencial



por acúmulo de nitrato e a necessidade de período de inicialização e suplementação de alcalinidade (Reddy 2019).

Além disso, o desempenho do BFT pode ser inconsistente e dependente da variação sazonal do período de luz do dia para sistemas expostos à luz solar (Reddy 2019). Finalmente, a BFT semeou requisitos frequentes de manutenção, que às vezes podem ser muito onerosos.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tecnologia de bioflocos tem se consolidado como uma das estratégias mais promissoras para a intensificação sustentável da aquicultura, ao integrar o manejo da qualidade da água, a reciclagem de nutrientes e o desempenho produtivo dos organismos cultivados. Ao longo dos últimos anos, avanços significativos têm sido observados tanto no entendimento da dinâmica microbiana quanto no desenvolvimento de novas abordagens tecnológicas voltadas à padronização e eficiência do sistema.

Nesse contexto, destaca-se o surgimento de bioflocos líquidos formulados a partir de cepas específicas de bactérias benéficas, como *Bacillus subtilis*, produzidos em biofábricas especializadas. Esses produtos representam uma evolução em relação ao biofoco convencional formado in situ, apresentando vantagens como maior controle microbiológico, rápida colonização do sistema, padronização da composição microbiana, redução do tempo de maturação do biofoco e maior previsibilidade dos resultados produtivos e sanitários. Além disso, o uso de bioflocos líquidos pode contribuir para a estabilidade da comunidade microbiana e para a mitigação de microrganismos patogênicos, favorecendo a saúde e a sobrevivência dos animais cultivados.

Entretanto, independentemente da estratégia adotada, o sucesso da tecnologia de bioflocos está diretamente associado ao manejo adequado da relação carbono:nitrogênio, uma vez que o fornecimento correto da fonte de carbono é essencial para estimular o crescimento de bactérias heterotróficas responsáveis pela assimilação do nitrogênio inorgânico presente na água. A escolha da fonte de carbono, sua disponibilidade, custo e taxa de aplicação devem ser criteriosamente avaliadas, considerando as características da espécie cultivada e o sistema de produção.

Outro aspecto crítico da BFT é a manutenção de aeração constante e eficiente, indispensável para garantir níveis adequados de oxigênio dissolvido, manter os bioflocos em suspensão e favorecer a atividade metabólica da microbiota. Falhas na aeração podem comprometer rapidamente a qualidade da água, resultando em acúmulo de compostos tóxicos e impactos negativos sobre o desempenho e a sobrevivência dos animais.

Além disso, o monitoramento contínuo dos parâmetros físico-químicos da água, como pH, temperatura, alcalinidade, sólidos suspensos totais, amônia, nitrito e nitrato, permanece como um dos pilares da tecnologia de bioflocos. O equilíbrio desses parâmetros é fundamental para a estabilidade do sistema e para o pleno aproveitamento dos benefícios nutricionais e sanitários associados aos bioflocos.



De forma geral, a tecnologia de bioflocos, aliada às inovações recentes como os bioflocos líquidos e o uso de microrganismos funcionalmente selecionados, reforça seu papel como ferramenta estratégica para a aquicultura moderna. No entanto, sua aplicação bem-sucedida exige conhecimento técnico, manejo rigoroso e constante atualização científica, destacando a importância de estudos contínuos que avaliem novas formulações, fontes de carbono, interações microbianas e respostas fisiológicas dos organismos cultivados, visando à maximização da produtividade, sustentabilidade e bem-estar animal



REFERÊNCIAS

- ABAKARI, G., LUO, G., KUEBUTORNYE, F. K. A., LI, X., CHEN, L., & XUE, C. 2020. Effects of biochar application in biofloc systems on water quality, growth performance and physiological responses of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Research*, 51(9), 3650–3662. <https://doi.org/10.1111/are.14716>
- AHMAD, T.; RAHMAN, M. M.; HOSSAIN, M. Y.; ISLAM, M. A. 2017. Environmental impacts of aquaculture intensification: challenges and opportunities. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 24, n. 3, p. 2061–207. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7931-8>
- AVNIMELECH, Y. 1999. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 176(3–4), 227–235. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00085-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00085-X)
- AVNIMELECH, Y. 2015. *Biofloc Technology: A Practical Guide Book* (3rd ed.). Baton Rouge: The World Aquaculture Society.
- BOSSIER, P.; EKASARI, J. 2017. Biofloc technology application in aquaculture to support sustainable development goals. *Microbial Biotechnology*, v. 10, n. 5, p. 1012–1016. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12836>
- CRAB, R.; AVNIMELECH, Y.; DEFOIRDT, T.; BOSSIER, P.; VERSTRAETE, W. 2007. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*, v. 270, n. 1–4, p. 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.05.006>
- CRAB, R., DEFOIRDT, T., BOSSIER, P., & VERSTRAETE, W. 2012. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, 356–357, 351–356. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.046>
- ELAYARAJA, S., SATHISH KUMAR, D., PRABU, E., & AHILAN, B. 2020. Influence of sugar-based biofloc system on growth performance, immune response and disease resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Reports*, 17, 100343. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100343>
- EMERENCIANO, M., BALLESTER, E. L. C., CAVALLI, R. O., & WASIELESKY JR., W. 2012. Biofloc technology application as a food source in a limited water exchange nursery system for pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis*. *Aquaculture Research*, 43(3), 447–457. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02848.x>
- EMERENCIANO, M., GAXIOLA, G., & CUZON, G. 2013. Biofloc technology (BFT): A review for aquaculture application and animal food industry. *Biomass Now – Cultivation and Utilization*. InTech. <https://doi.org/10.5772/53902>
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022: Towards Blue Transformation*. Rome: FAO, 2022.
- GALLARDO-COLLÍ, A., PÉREZ-FUENTES, J. A., HERNÁNDEZ-VERGARA, M. P., PÉREZ-ROSTRO, C. I., & CIVERA-CERECEDO, R. 2019. Nile tilapia culture using effluent water from biofloc systems: Growth performance and survival. *Aquaculture Research*, 50(5), 1446–1454. <https://doi.org/10.1111/are.14027>



HARGREAVES, J. A. 2013. Biofloc production systems for aquaculture. *Southern Regional Aquaculture Center (SRAC)*, Publication No. 4503.

JAMAL M. T, VASSOURA M., AL-MUR B. A., AL HARBI M., GHANDOURAH M., AL OTAIBI A., HAQUE M. F. 2020. Tecnologia de Bioflocos: Biotecnologia Microbiana Emergente para a Melhoria da Produtividade da Aquicultura. *Pol J Microbiol.* 69(4):401-409. Doi: 10.33073/PJM-2020-049. Epub 2020 27 de dezembro. PMID: 33574868; PMCID: PMC7812359.

KIM, S. K., PANG, Z., SEO, H. C., CHO, Y. R., SAMOCHA, T. M., & JANG, I. K. 2021. Effect of carbon sources on water quality and microbial communities in biofloc systems for *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 531, 735848. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735848>

KUHN, D. D., BOARDMAN, G. D., LAWRENCE, A. L., MARSH, L., & FLICK, G. J. 2010. Microbial floc meals as a replacement ingredient for fish meal and soybean protein in shrimp feed. *Aquaculture*, 296(1-2), 51-57.

LAICE, P., FELIX, S., MUTHUKUMAR, T., & MICHAEL, R. D. 2021. Effect of synbiotics in biofloc-based culture system on growth performance, hematology and immune response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish & Shellfish Immunology*, 108, 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.10.044>

MENAGA, M., FELIX, S., CHARULATHA, M., & MICHAEL, R. D. 2020. Probiotic bacteria isolated from biofloc system improve growth, immune response and disease resistance in genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Research*, 51(10), 4148–4161. <https://doi.org/10.1111/are.14777>

PANIGRAHI, A., SUNDARAM, M., CHAKRAPANI, S., RAJASEKAR, S., SYAMA DAYAL, J., & CHAVALI, G. 2019. Effect of carbon and nitrogen ratio (C:N) on growth performance, immune response and microbial dynamics in biofloc-based culture system of *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, 501, 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.11.024>

PANIGRAHI, A.; SUNDARAM, M.; CHAKRABORTY, A.; RAJESH, J. 2020. Immunomodulatory and growth-promoting effects of biofloc systems in aquaculture species. *Aquaculture Reports*, v. 17. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100361>

PANIGRAHI, A., SUNDARAM, M., CHAKRAPANI, S., RAJASEKAR, S., SYAMA DAYAL, J., & CHAVALI, G. 2020. Effect of biofloc system on growth, immune response and disease resistance of Indian white shrimp (*Penaeus indicus*). *Aquaculture*, 520, 734940. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.734940>

PÉREZ-FUENTES, J. A., PÉREZ-ROSTRO, C. I., HERNÁNDEZ-VERGARA, M. P., MONROY-DOSTA, M. C., & BADIOLA-GARCÍA, A. 2016. C:N ratio and stocking density effects on growth and survival of *Oreochromis niloticus* cultured in a biofloc system. *Aquaculture*, 458, 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.03.010>

RAY, A. J., LEWIS, B. L., BROWDY, C. L., & LEFFLER, J. W. 2010. Suspended solids removal to improve shrimp production in intensive biofloc systems. *Aquaculture*, 299(1–4), 89–98. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.11.021>

REDY, A. K. 2019. Operational challenges of biofloc technology in aquaculture. *Journal of Fisheries Sciences*, v. 13, n. 2, p. 15–24.



- SAMOCHA, T. M.; PATNAIK, S.; SPEED, M.; ALI, A. M.; BURGER, J. M. 2012. Use of molasses as carbon source in limited discharge biofloc shrimp systems. *Aquaculture Engineering*, v. 46, p. 61–66. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2011.10.002>
- SCHRYVER, P. D., CRAB, R., DEFOIRDT, T., BOON, N., & VERSTRAETE, W. 2008. The basics of bioflocs technology: The added value for aquaculture. *Aquaculture*, 277(3–4), 125–137. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.02.019>
- SHARMA, S.; SHRIVASTAV, A.; CHAKRABORTY, A. 2018. Water quality management in biofloc-based aquaculture systems. *Journal of Environmental Biology*, v. 39, p. 110–116.
- VAN DOAN, H., HOSEINIFAR, S. H., DAWOOD, M. A. O., CHITMANAT, C., & TAYYAMATH, K. 2020. Dietary supplementation of chestnut (*Castanea sativa*) polyphenols in biofloc systems: Effects on growth performance and immune response of Nile tilapia against *Streptococcus agalactiae*. *Fish & Shellfish Immunology*, 107, 102–109. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.09.060>
- VICENTE, I. S. 2014. Tecnologia de bioflocos: princípios e aplicações na piscicultura intensiva. *Panorama da Aquicultura*, v. 24, n. 143, p. 34–41.
- WASIELESKY Jr., W., ATWOOD, H., STOKES, A., & BROWDY, C. L. 2006. Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 258(1–4), 396–403. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.04.030>

