

## Influência de fatores ambientais na dinâmica do perífiton na aquicultura

### Influence of environmental factors on periphyton dynamics in aquaculture

Robério Mires de Freitas , Jéssica Lucinda Saldanha da Silva , Esau Aguiar Carvalho , Oscarina Viana de Sousa 

Universidade Federal do Ceará – UFC, Av. Mister Hull, s/n, Pici, CEP: 60455-760, Fortaleza-CE, Brasil.

**Correspondência:** Robério Mires de Freitas, **E-mail:** [roberiodw20@gmail.com](mailto:roberiodw20@gmail.com)

Ensaio Acadêmico | Essay

#### Palavras-chave

Comunidade perifítica  
Qualidade de água  
Alimento vivo  
Biofilme  
Microrganismos

**RESUMO** | Com o crescimento da atividade aquícola e o aumento da entrada de resíduos orgânicos oriundos dos ambientes de cultivo em corpos de águas naturais, o desenvolvimento de técnicas que minimizem os impactos da aquicultura se faz necessário. Uma estratégia que vem mostrando resultados promissores na mitigação dos impactos negativos da aquicultura é a manipulação das comunidades microbianas naturais dos ecossistemas aquáticos. Essas comunidades utilizam as altas cargas de nutrientes para o seu desenvolvimento e o seu crescimento no meio é regulado por vários fatores naturais. Nesta revisão, os principais fatores ambientais que podem modificar a dinâmica e função do biofilme nos ambientes de cultivo, foram minuciosamente analisados. Diversos fatores categorizados como bióticos: parasitismo, predação e pastejo e abióticos: concentração de nutrientes, temperatura, pH, substratos, luz, velocidade de água e regime hidrológico foram apontados como determinantes para a colonização e estabelecimento do biofilme. Todavia, alguns fatores se demonstraram mais atuantes na dinâmica da comunidade, sendo possível distinguir aqueles que apresentam maior interferência no desenvolvimento e dinâmica da comunidade.

#### Keywords

Periphytic community  
Water quality  
Live food  
Biofilm  
Microorganisms

**ABSTRACT** | With the growth of aquaculture activity and the increase in the entry of organic wastes from the cultivation environments into natural water bodies, the development of techniques that minimize the impacts of the activity is necessary. One strategy that has shown promising results in mitigating the negative impacts of the activity is the manipulation of the natural microbial communities of aquatic ecosystems. These communities use high nutrient loads for their development and their growth in the medium is regulated by several natural factors. In this review, the main environmental factors that can modify the dynamics and function of biofilms in cultivation environments were carefully analyzed. Several factors categorized as biotic: parasitism, predation and grazing and abiotic: nutrient concentration, temperature, pH, substrates, light, water velocity and hydrological regime were identified as determinants for the colonization and establishment of the biofilm. However, some of these were more active in the dynamics of the periphytic community, being possible to distinguish those that present greater interference in the development and dynamics of the community.

## INTRODUÇÃO

O crescimento e intensificação das atividades aquícolas vem fazendo com que haja uma maior entrada de resíduos orgânicos nos ambientes de cultivos e corpos de águas naturais, resultante de insumos de ração não consumida e excretas dos animais produzidos que se decompõem em amônia. Uma das estratégias que vem se mostrando promissora para a mitigação dos impactos ambientais relacionados com o crescimento dessas atividades, é a manipulação das comunidades microbianas naturais dos sistemas aquáticos, estas, além de serem uma fonte alternativa de alimento para as espécies cultivadas, são capazes de utilizar as altas cargas de nutrientes oriundas dos resíduos orgânicos, proporcionando a melhoria da qualidade de água e consequentemente do desempenho do cultivo (Anand *et al.* 2019).

Dentre as técnicas que se baseiam na utilização de microrganismos e que buscam sistemas de cultivos mais sustentáveis e com uma redução significativa de impactos negativos ao ambiente, destaca-se a aquicultura baseada em biofilme perifítico (Ren *et al.* 2019). O biofilme, é definido como uma complexa comunidade de microrganismos constituída por bactérias, fungos, protozoários, microalgas, zooplâncton

dentre outros invertebrados que vivem associados a uma matriz orgânica e aderidos a substratos submersos (Azim *et al.* 2005; Gatune *et al.* 2017). Se destaca como um importante componente dos ecossistemas aquáticos e incluindo os ambientes de cultivo em aquicultura, nestes, desempenham diversas funções que são tidas como essenciais para a manutenção do equilíbrio ecológico, como na influência direta na produção primária, cadeias alimentares e reciclagem de nutrientes e matéria (Mohapatra *et al.* 2016).

Devido a essas características, as pesquisas com biofilme perifítico facilitam a compreensão de vários processos naturais nos ecossistemas aquáticos, desde aqueles relacionados a produtividade a investigações sobre a interação entre os diferentes níveis tróficos (Saikia e Das 2009). Na literatura são encontrados alguns trabalhos que trazem uma revisão sobre a estrutura, a dinâmica e o desenvolvimento do perifíton, assim como, a composição das espécies para ambientes de aquicultura (Ruby *et al.* 2018). No entanto, os mecanismos que são acionados como respostas pela comunidade aos diferentes fatores ambientais e quais desses fatores são mais atuantes como estressores à comunidade, não estão esclarecidos. A dinâmica e o crescimento do perifíton podem ser determinados por uma série de fatores, e dessa forma, podendo alterar as funções ecológicas executadas pela comunidade microbiana, essas etapas necessitam de um melhor entendimento, requerendo um levantamento de informações que esclareçam quais fatores ambientais são mais atuantes e como os microrganismos responderão a estes.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo realizar um levantamento bibliográfico a respeito dos principais fatores ambientais e como estes podem modificar a dinâmica e função do biofilme perifítico em sistemas de cultivo em aquicultura.

## FATORES AMBIENTAIS QUE DETERMINAM A DINÂMICA DO BIOFILME PERIFÍTICO

Os principais fatores identificados nos estudos analisados, foram agrupados em dois grandes grupos, considerando sua natureza: fatores abióticos e bióticos (Fig. 1).

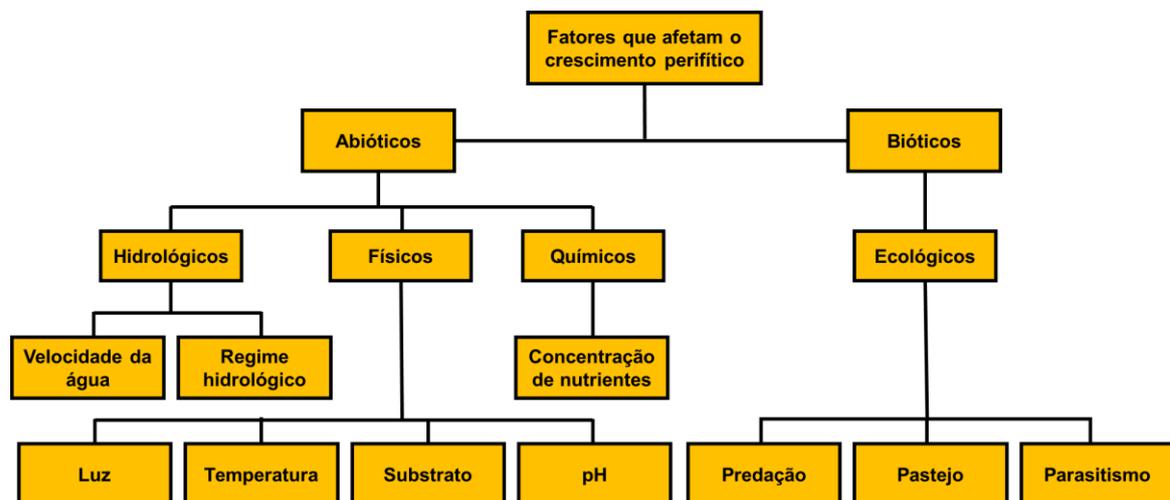


Figura 1. Diagrama resumindo a relação dos fatores ambientais que afetam o crescimento e dinâmica do biofilme perifítico.

### Fatores abióticos

#### Concentração de nutrientes

Um importante caminho para a compreensão da relação entre a concentração de nutrientes e o biofilme perifítico, seriam os estudos que abordam a influência da adição de nutrientes nos ambientes de aquicultura. Trabalhos como o de Xu *et al.* (2016) enquadra-se nesse perfil. Os autores concluíram que a manipulação da concentração de carbono e nitrogênio em ambientes de cultivo, pode afetar diretamente a taxa de crescimento do biofilme, mediante a ocorrência de diferentes vias de utilização desses nutrientes como substratos pelos microrganismos. Essas informações estão de acordo com os resultados relatados por outros estudos, como os

observados por Ren *et al.* (2019), em uma pesquisa que avaliou os efeitos da taxa de carbono e nitrogênio sobre a capacidade de bactérias constituintes do biofilme em melhorar a qualidade da água. Para este último estudo, os autores avaliaram o biofilme que constituía a estrutura do bioflocos aplicado no cultivo de *Penaeus vannamei* e destacaram que o crescimento e função de diversos grupos bacterianos no biofilme, sofre influência direta em relação a concentração dos nutrientes no ambiente, também foi observado um aumento proporcional da abundância de bactérias heterotróficas de acordo com a concentração de nutrientes. Resultados semelhantes aos do estudo anterior também foram observados por Wei *et al.* (2020), os quais avaliaram a influência da adição de diferentes fontes de carbono em ambientes de cultivo. Os autores notaram que a concentração de carbono não somente afeta a estrutura e composição microbiana, como também a função exercida pelo biofilme no meio. Foi verificado que de acordo com a fonte de carbono utilizada era observada ou não atividade antagônica do biofilme frente a patógenos para os ambientes de cultivo, destacando a importância do tipo da fonte de nutrientes como um fator determinante sobre a dinâmica microbiana.

Informações contrastantes as anteriores também podem ser encontradas na literatura, como os resultados de Jiang *et al.* (2020). Esses autores verificaram que adição de algumas fontes de carbono, pode alternar a riqueza de espécies no biofilme, porém não a diversidade, que seria uma etapa necessária na modificação da função ecológica exercida pela comunidade, sendo a constituição do biofilme o fator que caracterizará quais funções serão estabelecidas no meio, seja ela a melhoria da qualidade de água, do desempenho zootécnico (principalmente no crescimento e na sobrevivência das espécies cultivadas) ou na resposta imune.

Todos esses cenários até aqui demonstrados, levam para uma discussão na qual o tipo da fonte de nutrientes utilizada no meio (manejo) poderá determinar diferentes respostas na dinâmica da comunidade perifítica. Nesse sentido, pode-se entender que a adição de nutrientes tanto poderá influenciar diretamente a estrutura do biofilme como indiretamente, para isso, dependerá da concentração (quantidade) e o tipo (qualidade) do componente químico. Fontes de nutrientes simples de assimilação irão requerer menos tempo de decomposição, refletindo na resposta de determinados grupos de microrganismos, os quais, quando beneficiados pelo nutriente disponível, podem apresentar vantagens evolutivas na utilização desses compostos como substratos (metabolismo), que por sua vez, tendem a ter um incremento na sua abundância (Wei *et al.* 2020). Assim, a concentração e o tipo de nutrientes podem influenciar fatores intrínsecos a comunidade selecionando e modificando o estabelecimento de determinados grupos microbianos em detrimento de outros.

Jiang *et al.* (2020) descrevem como isso pode ocorrer no ambiente de cultivo. Segundo os autores, a fácil e rápida assimilação de determinados compostos por alguns grupos microbianos preestabelecidos no meio, como a adição de melação como fonte de carbono e razão C:N aumentada para 12:36, promoveu um aumento significativo em alguns parâmetros ambientais (modificação ambiental), resultando em mudanças na qualidade de água, apesar de que parâmetros como nitrogênio amoniacal total (NAT), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) foram mantidos em concentrações relativamente baixas, foi visualizado uma maior concentração de DQO (Demanda Química de Oxigênio) que é resultante das altas taxas de respiração por parte de alguns grupos de microrganismos. Isso na prática pode se configurar como um fator limitante na estabilização e crescimento de outros grupos microbianos que sejam mais susceptíveis a esta nova condição no meio (maior concentração de DQO), desse modo, afetando a estrutura do biofilme perifítico.

## Temperatura

Wu (2017) afirma que a temperatura da água interfere no crescimento e estabelecimento do biofilme perifítico, por via das mudanças na taxa do metabolismo dos constituintes da comunidade. Mudanças na temperatura do ambiente têm efeito direto sobre processos relacionados à formação do biofilme e eficiência na utilização de nutrientes como substratos, respiração, fotossíntese e atividade enzimática.

Estudos aplicados em ambientes de aquicultura reforçam essas afirmações. Levy *et al.* (2017) relataram para a comunidade perifítica utilizada como biofiltro em sistemas de cultivo de Tainha (*Mugil cephalus*) um

aumento na taxa de crescimento específico (TCE) para cada 1 °C de aumento na temperatura da água, além da visualização de uma variação na composição da comunidade de acordo com a estação do ano avaliada.

Os microrganismos apresentam registros de temperatura de crescimento ótimos e máximos para sobrevivência e estes são descritos dentro de amplos intervalos de tolerância para o perifíton. Evidências indicam que a tolerância de temperatura varia entre os principais táxons da comunidade microbiana e essa variação sugere que regimes térmicos influenciam padrões espaciais e temporais dentro da comunidade perifítica (Larned 2010). Consequentemente, com a alteração da composição do biofilme exposto a uma variação de temperatura, a função exercida pela comunidade também poderá variar.

Cole *et al.* (2019) avaliando os efeitos da adição de substratos na composição bacteriana e concentrações de nutrientes em ambientes de cultivo de uma espécie de lagostim australiano (*Cherax cainii*), observaram que dentre todas as estações do ano avaliadas, houve maior abundância na comunidade perifítica no verão, e esse momento coincidiu com os menores valores na concentração de nitrogênio, sugerindo a ocorrência de uma relação direta entre as maiores temperaturas desse período com a maior utilização do nitrogênio pelas bactérias presentes no biofilme. Os autores complementam essa observação afirmando que houve uma melhor performance do grupo de bactérias nitrificantes, principalmente por estirpes do gênero *Bacillus* que foram favorecidas com intervalos de temperatura ideais entre 25 °C a 35 °C, nessa estação. Configurando como uma condição ambiental determinante na dinâmica do perifíton, selecionando componentes e permitindo o estabelecimento e desenvolvimento ideal para a comunidade.

## pH

Há poucos estudos que avaliam o real impacto do pH sobre a dinâmica e função da comunidade perifítica. No entanto, Wu (2017) afirma que a diminuição da riqueza de espécies no biofilme pode estar relacionada a diminuição do pH do meio, ao passo que os valores de pH em alguns casos podem aumentar a abundância de determinados grupos do perifíton, como é descrito para alguns representantes de algas perifíticas. Segundo o autor, organismos da família Zygnemataceae são frequentemente descritos sendo favorecidos com a diminuição do pH do meio.

Alguns estudos também afirmam que o pH pode facilitar a absorção de íons metálicos pelos microrganismos aquáticos, através do aumento da solubilidade desses compostos, uma vez que íons como aqueles que contêm ânions básicos, a solubilidade aumenta conforme o pH do meio diminui (Lopez *et al.* 2017). Ainda segundo esses autores, em um estudo que avaliou a capacidade de bioconcentração de arsênio (semimetal) poluente de corpos hídricos pelo biofilme perifítico sobre diferentes valores de pH, verificaram uma relação inversa entre o pH e a capacidade de absorção de arsênio pelo biofilme, observando que o perifíton em tratamentos com pH de 6,5 apresentaram uma capacidade de acumulação quase três vezes maior de arsênio do que o perifíton sob pH de 8,5, corroborando com o entendimento da relação entre pH e solubilidade de íons. Os resultados observados por esses autores são semelhantes aos achados para algumas espécies de macroalgas, salientando que os baixos valores de pH do meio podem aumentar a capacidade de depuração desses organismos, estes microrganismos em ambientes com pH em torno de 4 demonstraram uma bioacumulação duas vezes maior do que em pH 10, sugerindo que a contribuição relativa de cada rota de exposição varia de acordo com o pH, mesmo entre o perifíton composto por espécies intimamente relacionadas ou espécies com vias metabólicas semelhantes (Biodeg e Sibi 2014).

## Substratos

O substrato oferece um espaço físico para o estabelecimento do biofilme perifítico, é sabido que a abundância e composição da comunidade também podem ser determinadas de acordo com o tipo utilizado, devido suas propriedades químicas e físicas (Wu 2017). Eles ainda podem enquadrar-se em dois grupos: substratos naturais e artificiais que determinam de diferentes formas a composição e o período do desenvolvimento da comunidade perifítica (Bicudo e Menezes 2006).

Nos estudos que investigam a interação entre o biofilme perifítico e o meio, o substrato utilizado pode determinar o desenvolvimento dos microrganismos de diversas formas, influenciando desde a produtividade primária, a colonização, a sucessão dos microrganismos constituintes e a eficiência da remoção de compostos poluentes (Cao *et al.* 2019). Essa grande diversidade de substratos pode facilitar os estudos e a aplicação do perifíton para os ambientes de aquicultura, possibilitando a escolha do que melhor adequa-se a pesquisa ou ao *layout* do cultivo (Richard *et al.* 2009).

Nos estudos realizados em ambientes de aquicultura, nota-se a utilização de uma maior diversidade de substratos artificiais aplicados no cultivo de diversas espécies do que os naturais (Tabela 1). Alguns autores abordam que a composição dos substratos artificiais tem pouca interferência sobre a comunidade microbiana, dessa forma, minimizando as diferenças da composição dos microrganismos e possibilitando uma melhor formação das fases de crescimento e estabelecimento do perifíton (Gordillo-Guerra *et al.* 2020).

Apesar desses achados, alguns autores ainda chamam a atenção para a necessidade da realização de mais estudos que investiguem a utilização e capacidade de retenção de biomassa perifítica em substratos biodegradáveis (naturais), uma vez que possíveis inconsistências de dados referente a presença e abundância de determinados grupos de microrganismos nesse tipo de substrato podem se mostrar presentes nas discussões de alguns estudos, além da ascendente preocupação com os problemas ambientais decorrentes do microplástico, onde os principais materiais comerciais ou não, utilizados para a acumulação da biomassa perifítica são materiais poliméricos sintéticos (Richard *et al.* 2009).

**Tabela 1.** Principais substratos naturais e artificiais utilizados para a colonização da biomassa perifítica em sistemas de cultivo em aquicultura. \*Substratos artificiais comerciais; \*\* Espécie cultivada não informada pelos autores; \*\*\* Ausência de animais na pesquisa.

Substrato	Tipo	Espécie cultivada	Autor
Aquamats®*	Artificial	<i>Penaeus vannamei</i>	Santana-Kumar <i>et al.</i> 2017
		<i>Penaeus vannamei</i>	Audelo-Naranjo <i>et al.</i> 2012
		<i>Farfantepenaues paulensis</i>	Ballester <i>et al.</i> 2007
Elástico estéril	Artificial	***	Lu <i>et al.</i> 2016
Fibra de vidro	Artificial	***	Richard <i>et al.</i> 2009
Placas de PVC	Artificial	<i>Oreochromis niloticus</i>	Cavalcante <i>et al.</i> 2017
		<i>Oreochromis niloticus</i>	Cavalcante <i>et al.</i> 2016
		<i>Penaeus vannamei</i>	Audelo-Naranjo <i>et al.</i> 2012
		<i>Penaeus monodon</i>	Khatoon <i>et al.</i> 2007
		<i>Oreochromis niloticus</i> x <i>Oreochromis aureus</i>	Milstein <i>et al.</i> 2008
Rede polietileno ≥ 5mm (malha)	Artificial	***	Gómez-Ramírez <i>et al.</i> 2019
		***	Richard <i>et al.</i> 2009
		<i>Oreochromis niloticus</i> x <i>Oreochromis aureus</i>	Milstein <i>et al.</i> 2008
Rede polietileno ≤ 3mm (malha)	Artificial	<i>Mugil cephalus</i>	Guttman <i>et al.</i> 2018
		<i>Mugil cephalus</i>	Levy <i>et al.</i> 2017
		***	Richard <i>et al.</i> 2009
		<i>Oreochromis niloticus</i> x <i>Oreochromis aureus</i>	Milstein <i>et al.</i> 2008
		<i>Penaeus vannamei</i>	Schweitzer <i>et al.</i> 2013
Rede de jardim	Artificial	<i>Crassostrea cuttackensis</i> , <i>Mugil cephalus</i> , <i>Penaeus indicus</i> , <i>Scylla serrata</i>	Lalramchhani <i>et al.</i> 2020
Tecido	Artificial	***	Gómez-Ramírez <i>et al.</i> 2019
Telha de Cerâmica	Artificial	<i>Penaeus monodon</i>	Khatoon <i>et al.</i> 2007
<i>Barringtonia</i> sp	Natural	Peixe**	Azim <i>et al.</i> 2002 b

Cont. Tabela 1

Arroz	Natural	***	Saikia e Das (2007)
Bambu	Natural	<i>Penaeus monodon</i>	Anand et al. 2019
		<i>Cherax cainii</i>	Cole et al. 2019
		<i>Tilapia rendalli</i>	Chikorela et al. 2019
		<i>Aristichthys nobilis, Cirrhinus mrigala, Ctenopharyngodon idella, Cyprinus carpio, Esomus danricus, Hypophthalmichthys molitrix, Labeo rohita, Puntius sophore</i>	Jah et al. 2018
		<i>Hypophthalmichthys molitrix, Macrobrachium rosenbergii, Oreochromis niloticus</i>	Haque et al. 2018
		<i>Mugil cephalus</i>	Biswas et al. 2017
		<i>Macrobrachium rosenbergii, Oreochromis niloticus</i>	Haque et al. 2015
		<i>Penaeus monodon</i>	Kumar et al. 2015
		<i>Penaeus monodon</i>	Anand et al. 2013
		<i>Catla catla, Cirrhinus mrigala, Cyprinus carpio, Hypophthalmichthys molitrix, Labeo rohita</i>	Rai e Yi (2012)
		<i>Penaeus vannamei</i>	Audelo-Naranjo et al. 2010
		<i>Aristichthys nobilis, Ctenopharyngodon idella</i>	Asaduzzaman et al. 2010
		<i>Macrobrachium rosenbergii, Oreochromis niloticus</i>	Asaduzzaman et al. 2009
		<i>Macrobrachium rosenbergii</i>	Asaduzzaman et al. 2008
		<i>Penaeus monodon</i>	Khatoon et al. 2007
		<i>Macrobrachium rosenbergii, Oreochromis niloticus</i>	Uddin et al. 2007
		<i>Oreochromis niloticus x Oreochromis mossambicus</i>	Keshavanath et al. 2004
		<i>Catla catla, Labeo calbasu, Labeo rohita</i>	Azim et al. 2004
		<i>Labeo fimbriatus</i>	Mridula et al. 2003
		<i>Labeo fimbriatus, Tor khudree</i>	Keshavanath et al. 2002
<i>Labeo rohita, Catla catla, Labeo calbasu</i>	Azim et al. 2002 a		
<i>Labeo rohita, Catla catla</i>	Azim et al. 2001		
<i>Oreochromis niloticus</i>	Huchette et al. 2000		
Esponja vegetal ( <i>Luffa aegyptiaca</i> )	Natural	<i>Penaeus monodon</i>	Khatoon et al. 2007
Folha de Palmeira ( <i>Phoenix dactylifera</i> )	Natural	<i>Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus</i>	Milstein et al. 2008
Madeira	Natural	***	Gómez-Ramírez et al. 2019
		***	Richard et al. 2009
Pistia ( <i>Pistia stratiotes</i> )	Natural	<i>Semaprochilodus insignis</i>	SOLAK et al. 2016

## Luz

O fator luminosidade irá determinar o crescimento e dinâmica da comunidade perifítica através da influência direta na temperatura do meio, além de regular principalmente os componentes fotoautotróficos e definindo significativamente a concentração de clorofila-*a* nos ambientes aquáticos (Wu 2017). O fluxo luminoso pode modificar a produção primária, fixação de carbono, ciclagem de nutrientes e o desempenho na melhoria da qualidade de água, principalmente pelos microrganismos fotoautotróficos (Mohapatra et al. 2016). Estudos são executados nos ambientes de cultivo, com o objetivo de investigar os efeitos da variação da luminosidade sobre a dinâmica das comunidades microbianas e/ou desempenho das espécies cultivadas.

Trabalhos como Fleckenstein *et al.* (2019) que averiguaram o efeito da iluminação suplementar com LED na qualidade de água e performance do *P. vannamei* em sistemas de cultivos *indoor*. Esses autores constataram que os ambientes expostos a uma maior luminosidade, tiveram melhores resultados devido ao crescimento dos organismos fotossintetizantes, quando comparado aos ambientes com baixos níveis de iluminação. Resultados como estes, apontam a importância da exposição de sistemas de cultivos à luz, devido ao aumento da abundância dos microrganismos fotoautotróficos nesses ambientes, possibilitando benefícios como a melhoria da qualidade de água, desempenho zootécnico e o aumento da resistência das espécies cultivadas frente a diversos patógenos (Ge *et al.* 2017).

O crescimento do fitoplâncton também pode causar eventuais problemas durante a fase de cultivo. Alguns autores apontam que flutuações diárias na qualidade de água dos sistemas podem estar relacionadas ao crescimento dessa comunidade microbiana, e para aqueles empreendimentos dependentes de produtividade primária, pode ocorrer a acumulação de compostos nitrogenados em dias nublados, caracterizando-se como um fator negativo na produção (Ren *et al.* 2019).

Em um outro contexto, contrariando os resultados até aqui abordados, Ren *et al.* (2019) em um estudo onde averiguaram o efeito de diferentes taxas de nutrientes e luminosidade sobre a captação de compostos nitrogenados em tanques de cultivo de *P. vannamei* fazendo uso de tecnologia de bioflocos, os autores observaram um aumento significativo da melhoria da qualidade de água em ambientes com baixos níveis de luminosidade. De acordo com os resultados, essa condição de luz e taxa de nutrientes ofertadas, permitiram o estabelecimento de bactérias quimioheterotróficas pertencentes ao ciclo do nitrogênio que foram eficientes na oxidação de amônia e nitrito dos sistemas de cultivo, levando a uma melhoria considerável na qualidade de água dos cultivos.

Resultados como os anteriormente comentados também foram encontrados por Jiang *et al.* (2020) em um estudo que buscou entender a influência da adição de diferentes taxas de carbono e luminosidade sobre a composição e função estabelecida pela comunidade do biofilme de um sistema de bioflocos no cultivo de *P. vannamei*. Segundo os resultados, houve diferença na concentração de clorofila- $\alpha$  nos tratamentos com diferentes luminosidades, no entanto quando nestes, as taxas de nutrientes eram mantidas, não havia diferença na eficiência de remoção de compostos nitrogenados sobre as distintas condições de luz, sugerindo que outros microrganismos do biofilme além dos fotoautotróficos desempenharam a função de remoção desses compostos. Gorospe *et al.* (2019) em um estudo que avaliou um sistema de cultivo de sandfish (*Holothuria scabra*) baseado em biofilme perifítico, também observaram poucos efeitos negativos relacionados ao sombreamento sobre os microrganismos do biofilme, de acordo com estes, o pastejo realizado pela espécie cultivada se mostrou um fator de maior importância para o declínio da comunidade perifítica do que a concentração de luz do ambiente.

Resultados como esses corroboram com o entendimento de que a dinâmica e o estabelecimento de componentes do biofilme estão relacionados a mais de um fator ambiental além da luz, como a concentração de nutrientes dos sistemas. Quando o nível de nutrientes do meio é mantido, a variação da luminosidade pode interferir na interação entre os microrganismos do perifíton, como pode ser visualizado em um ambiente com baixo nível de luz, onde nessa condição haverá um incremento nos microrganismos quimioheterotróficos, e estes, quando ocupando devidamente seus nichos ecológicos, passam a ser responsáveis pela manutenção dos parâmetros de qualidade de água nesse tipo de condição (Xu *et al.* 2016).

A variação da intensidade luminosa pode proporcionar diferentes efeitos sobre a qualidade de água e parâmetros zootécnicos e imunológicos nas espécies cultivadas, podendo estas serem incrementadas de acordo com a oferta de condições ideais ao estabelecimento e incremento na abundância de grupos específicos de microrganismos (Martinez-Porchas *et al.* 2020). Apesar disso, reconhecer outra rota de funcionamento e manutenção do equilíbrio ecológico aquático, se mostra relevante quando considerados os sistemas de cultivos que utilizam materiais de cobertura em viveiros para a proteção contra aves ou na manutenção da temperatura, esse tipo de estrutura pode interferir na entrada de luz natural nos sistemas impactando de forma negativa a abundância dos microrganismos fotoautotróficos.

## Velocidade de água e regime hidrológico

O fluxo e o regime hidrológico irão afetar naturalmente o biofilme perifítico de diversas formas, podendo prejudicar o desenvolvimento da estrutura da comunidade, disponibilidade de nutrientes e substratos disponíveis (Wu 2017). Podendo ainda remover completamente a comunidade perifítica do substrato, afetando negativamente o acúmulo de biomassa e reiniciando o processo de sucessão dos microrganismos, dessa forma modificando composição e função do biofilme perifítico (Chen *et al.* 2018).

Diante dessas informações, estudos aplicados nos ambientes de cultivo têm dado atenção à intensidade do fluxo gerado pela aeração sobre a função exercida pelo perifíton. Exemplo dessa abordagem é o trabalho de De-Morais *et al.* (2020), no qual foi abordado a eficiência na remoção de compostos nitrogenados em um sistema integrado de substratos e com bioflocos durante o cultivo de *P. vannamei*. Sob diferentes intensidades de aeração, os autores observaram que apesar da possibilidade da ocorrência de rupturas no biofilme pela maior intensidade de aeração utilizada, com um fluxo em uma taxa de 75L/min, não foi encontrada diferença na remoção de compostos nitrogenados entre os demais fluxos utilizados no trabalho (7,5L/min e 33,75L/min).

Apesar da atenção levantada em relação aos fluxos aplicados no ambiente de cultivo pelos autores no trabalho anterior, a importância da presença de sistemas de aeração no meio também é destacada. Os autores relataram que nos ambientes caracterizados pela ausência de taxa de aeração foi observado uma deficiência no processo de oxidação dos compostos nitrogenados, sendo encontrado uma menor eficiência na remoção desses nutrientes nos sistemas sem aeração, devido a exigência de oxigênio pelos microrganismos oxidadores de amônia e nitrato.

Han *et al.* (2018) e Li *et al.* (2020) observaram que independente da dinâmica hídrica do meio, outros fatores se mostram ser mais determinantes na regulação da dinâmica do biofilme perifítico. Nesses trabalhos foi observado que apesar da espessura do perifíton diminuir sob os fluxos mais intensos avaliados, a diversidade bacteriana aumenta como resultado da interação com o substrato, nesta ocasião, o meio suporte colonizado (substrato) proporcionará um nicho ideal para o crescimento e estabilização da comunidade microbiana do perifíton, destacando mais uma vez que vários fatores no ambiente aquático podem determinar a dinâmica dos microrganismos e que em algumas situações, fatores isolados podem demonstrar maior influência no estabelecimento do biofilme do que outros.

## Fatores bióticos

### Predação e pastejo

Considerando a ampla diversidade de microrganismos que compõem o biofilme perifítico e suas diferentes características fisiológicas, conceitos e discussões a respeito da predação e pastejo como fatores que afetam a dinâmica e estabelecimento dos componentes do perifíton se fazem presentes em diversas discussões de estudos que tentam desvendar as relações tróficas intrínsecas e/ou extrínsecas à comunidade. O efeito desses fatores sobre o biofilme perifítico tanto é descrito como sendo quantitativo, ou seja, quando há modificação na biomassa, como qualitativo, afetando a distribuição espacial e temporal através da sucessão ecológica na comunidade (Wu 2017). Ainda segundo o autor, várias espécies de crustáceos, insetos, moluscos, peixes herbívoros e anfíbios em determinadas fases larvais utilizam o biofilme perifítico como fonte alimentar e essas informações têm servido como base para estimar a produtividade e biomassa perifítica há muito tempo.

Na aquicultura, também há uma vasta literatura demonstrando a importância da presença dessa comunidade como fonte de alimento vivo no cultivo de várias espécies de interesse econômico (Tabela 2). Assim como no ambiente natural, o perifíton serve como uma importante fonte de energia para os consumidores primários nos ambientes de cultivo (Saika e Das 2009). Além disso, de acordo com as condições abióticas do meio, sua contribuição na passagem de energia na cadeia trófica pode ser aumentada (Van-Dam *et al.* 2002), essas condições como temperatura mais elevada e menor disponibilidade de recursos

para as espécies cultivadas, também poderá determinar o efeito do pastejo sobre o biofilme perifítico, podendo o intensificar (Wu 2017). Dessa forma, avaliar a contribuição nutricional dos componentes presentes no perifiton para diferentes espécies de interesse econômico e quais condições de manejo podem promover um melhor aproveitamento dessa fonte de nutrientes pelas espécies cultivadas, se mostra um campo promissor para estudos de nutrição e alimentação para aquicultura.

**Tabela 2.** Principais espécies de interesse econômico cultivadas em sistemas de aquicultura baseado em biofilme perifítico.

Organismos	Espécie	Autor
Peixe	Barbatana do pântano ( <i>Puntius sophore</i> )	Jha <i>et al.</i> 2018
	Carpa ( <i>Labeo fimbriatus</i> )	Mridula <i>et al.</i> 2003
		Keshavanath <i>et al.</i> 2002
	Carpa ( <i>Catla catla</i> )	Rai e Yi (2012)
		Azim <i>et al.</i> 2004
		Azim <i>et al.</i> 2001
	Carpa cabeçuda ( <i>Aristichthys nobilis</i> )	Jha <i>et al.</i> 2018
	Carpa comum ( <i>Cyprinus carpio</i> )	Jha <i>et al.</i> 2018
		Rai e Yi (2012)
	Carpa do limo ( <i>Ctenopharyngodon idella</i> )	Jha <i>et al.</i> 2018
	Carpa mrigal ( <i>Cirrhinus mrigala</i> )	Jha <i>et al.</i> 2018
		Rai e Yi (2012)
	Carpa prateada ( <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> )	Jha <i>et al.</i> 2018
		Haque <i>et al.</i> 2018
		Rai e Yi (2012)
	Carpa rohu ( <i>Labeo rohita</i> )	Majumder e Saikia (2020)
		Jha <i>et al.</i> 2018
		Rai e Yi (2012)
		Azim <i>et al.</i> 2004
		Azim <i>et al.</i> 2001
	Farpa voadora indiana ( <i>Esomus danricus</i> )	Jha <i>et al.</i> 2018
	Labeo ( <i>Labeo calbasu</i> )	Azim <i>et al.</i> 2004
	Mahseer ( <i>Tor khudree</i> )	Keshavanath <i>et al.</i> 2002
	Prochilodus ( <i>Semaprochilodus insignis</i> )	Tortolero <i>et al.</i> 2016
	Tainha ( <i>Liza aurata</i> )	Richard <i>et al.</i> 2010
	Tainha ( <i>Mugil cephalus</i> )	Lalramchhani <i>et al.</i> 2020
		Biswas <i>et al.</i> 2017
Levy <i>et al.</i> 2017		
Tilápia ( <i>Oreochromis niloticus</i> x <i>Oreochromis aureus</i> )	Milstein <i>et al.</i> 2008	
Tilápia vermelha GIFT ( <i>Oreochromis niloticus</i> x <i>Oreochromis mossambicus</i> )	Haque <i>et al.</i> 2016	
	Keshavanath <i>et al.</i> 2004	
Tilápia de Cariba ( <i>Oreochromis mortimeri</i> )	Norberg 1999	
Tilápia do Nilo ( <i>Oreochromis niloticus</i> )	Haque <i>et al.</i> 2018	
	David <i>et al.</i> 2018	
	Garcia <i>et al.</i> 2017	
	Cavalcante <i>et al.</i> 2017	
	Haque <i>et al.</i> 2016	

Cont. Tabela 2

		Garcia <i>et al.</i> 2016
		Cavalcante <i>et al.</i> 2016
		Haque <i>et al.</i> 2015
		Asaduzzaman <i>et al.</i> 2009
		Uddin <i>et al.</i> 2007
		Huchette e Beveridge (2003)
		Huchette <i>et al.</i> 2000
		Norberg 1999
	Tilápia do Congo ( <i>Tilapia rendalli</i> )	Chikorela <i>et al.</i> 2019
		Norberg 1999
Crustáceo	Camarão gigante ( <i>Macrobrachium rosenbergii</i> )	Haque <i>et al.</i> 2018
		Haque <i>et al.</i> 2015
		Asaduzzaman <i>et al.</i> 2010
		Asaduzzaman <i>et al.</i> 2009
		Asaduzzaman <i>et al.</i> 2008
		Uddin <i>et al.</i> 2007
	Camarão indiano ( <i>Penaeus indicus</i> )	Lalramchhani <i>et al.</i> 2020
		Gatune <i>et al.</i> 2012
	Camarão tigre ( <i>Penaeus monodon</i> )	Anand <i>et al.</i> 2013
		Kumar <i>et al.</i> 2015
		Gatune <i>et al.</i> 2012
		Khatoon <i>et al.</i> 2007
		Anand <i>et al.</i> 2019
	Camarão do Pacífico ( <i>Penaeus vannamei</i> )	Santana-Kumar <i>et al.</i> 2017
Schveitzer <i>et al.</i> 2013		
Schveitzer <i>et al.</i> 2013		
Audelo-Naranjo <i>et al.</i> 2010		
Camarão rosa ( <i>Farfantepenaeus paulensis</i> )	Ballester <i>et al.</i> 2007	
Caranguejo de manguezal ( <i>Scylla serrata</i> )	Lalramchhani <i>et al.</i> 2020	
Lagosta marrom ( <i>Cherax cainii</i> )	Cole <i>et al.</i> 2019	
Molusco	Ostra ( <i>Crassostrea cuttackensis</i> )	Lalramchhani <i>et al.</i> 2020
Equinodermo	Peixe areia ( <i>Holothuria scabra</i> )	Gorospe <i>et al.</i> 2019

### Parasitismo

Apesar dos poucos estudos que avaliam os efeitos do parasitismo sobre o biofilme perifítico, principalmente no que se refere aos micro-invertebrados que constituem o zooperifíton, sabe-se que a relação parasita/hospedeiro pode influenciar na densidade, sobrevivência e taxa de crescimento (reprodução) do hospedeiro (Wu 2017).

Nesse sentido, Wolska e Mazurkiewicz-Zapalowicz (2013) em um estudo que buscou determinar a ocorrência de parasitismo em assembleias de perifíton, demonstrou uma rica interação entre esses componentes, resultante de um alto nível de adaptabilidade por parte dos parasitas por conseguir desenvolver-se em várias fases do ciclo de micro-invertebrados do zooperifíton. Além disso, há registros na literatura que relatam sobre predadores atuando como vetores de parasitas que acometem o perifíton, principalmente na

comunidade de algas (Bernot e Lamberti 2008), demonstrando a complexa e dinâmica interação entre esses componentes e podendo trazer questionamentos e discussões quanto aos desafios da implementação da comunidade aos ambientes de cultivos, uma vez que as espécies cultivadas podem vir a servir com vetores de parasitas impedindo o estabelecimento adequado dessa comunidade para esses ambientes.

## CONCLUSÕES E PROJEÇÕES FUTURAS

A função exercida pelo biofilme perifítico é determinada de acordo com sua composição, essa por sua vez pode ser influenciada por fatores do meio. Apesar dos inúmeros fatores apontados como determinantes na dinâmica da comunidade perifítica, é possível distinguir forças mais atuantes em detrimento de outras agindo sobre o biofilme. Na literatura científica, a concentração de nutrientes, assim como a intensidade luminosa e os tipos de substratos colonizados pelos microrganismos, aparecem como agentes determinantes no estabelecimento e crescimento de grupos formadores do biofilme nos viveiros/tanques de cultivo de organismos aquáticos.

Com base nessas informações sobre o funcionamento da dinâmica dos componentes do biofilme, é possível o aprimoramento de técnicas que se baseiam na aplicação desses microrganismos nos ambientes de aquicultura, como probióticos, bioflocos e perifíton. Esses métodos podem ter sua ação maximizada quando as condições do meio estão propícias para o desenvolvimento da comunidade microbiana, ou seja, quando o meio é mantido dentro das condições ótimas para a comunidade, as funções ecológicas exercidas serão executadas de forma mais adequada o que poderá ser observado na melhoria do desempenho do cultivo. Todavia, para um melhor aproveitamento das funções do perifíton aplicadas à aquicultura, estudos que vão além da avaliação da resposta da comunidade microbiana às condições ambientais, se fazem necessários. No cenário atual, foi verificado vários indícios que mostram as vantagens da manipulação na composição final do biofilme perifítico para os ambientes de cultivo, a manipulação da comunidade se mostra como um método promissor e é alcançado a partir da aplicação de um consórcio de microrganismos que possuem a capacidade de iniciar o processo de desenvolvimento e estabilização da comunidade microbiana, determinando o recrutamento de microrganismos com funções de importância reconhecida para aquicultura (função probiótica), levando a um incremento do ganho de peso, crescimento e resposta imune dos animais cultivados.

## Declaração de conflito de interesses dos autores

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

## REFERÊNCIAS

- Anand, P. S. S., Balasubramanian, C. P., Christina, L., Kumar, S., Biwas, G., Ghoshal, T. K., Vijayasn, K. K. (2019). Substrate based black tiger shrimp, *Penaeus monodon* culture: Stocking density, aeration and their effect on growth performance, water quality and periphyton development. *Aquaculture*, 507:411–418. doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.04.031
- Anand, P. S. S., Kohli, M.P.S., Roy, S. D., Sundaray, J.K., Kumar, S., Sinha, A., Pailan, G.H., Sukham, M. K. (2013). Effect of dietary supplementation of periphyton on growth performance and digestive enzyme activities in *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, 392:59–68. doi: 10.1016/j.aquaculture.2013.01.029
- Asaduzzaman, M., Wahab, M. A., Verdegem, M. C.J., Adhikary, R. K., Rahman, S. M.S., Azim, M. E., Verreth, J. A.J. (2010). Effects of carbohydrate source for maintaining a high C:N ratio and fish driven re-suspension on pond ecology and production in periphyton-based freshwater prawn culture systems. *Aquaculture*, 301:37–46. doi: 10.1016/j.aquaculture.2010.01.025
- Asaduzzaman, M., Wahab, M. A., Verdegem, M. C.J., Mondal, M. N., Azim, M. E. (2009). Effects of addition of tilapia *Oreochromis niloticus* and substrates for periphyton developments on pond ecology and production in C/N-controlled freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* farming systems. *Aquaculture*, 287:371–380. doi: 10.1016/j.aquaculture.2008.11.011

- Asaduzzaman, M., Wahab, M. A., Verdegem, M. C.J., Huque, S., Salam, M. A., Azim, M. A. (2008). C/N Ratio control and substrate addition for periphyton development jointly enhance freshwater prawn *Macrobrachium Rosenbergii* production in ponds. *Aquaculture*, 280:117–123. doi:10.1016/j.aquaculture.2008.04.019
- Audelo-Naranjo, J. M., Voltolina, D., Romero-Beltran, E. (2012). Culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) with zero water exchange and no food addition: an eco friendly approach. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 40:441–447. doi: 10.3856/vol40-issue2-fulltext-19
- Audelo-Naranjo, J. M., Martinez-Córdova, L. R., Romero-Beltran, E. (2010). Nitrogen budget in intensive cultures of *Litopenaeus vannamei* in mesocosms, with zero water exchange and artificial substrates. *Revista de biología marina y oceanografía*, 45:519–524. doi: 10.4067/S0718-19572010000300017
- Azim, M. E., Verdegem, M. C. J., Van-Dam, A. A., Beveridge, M. C. M. (2005). Periphyton ecology, exploitation and management. Editora CAB Internatinal. Wallingford, UK.
- Azim, M. E., Wahab, M. A., Biswas, P. K., Asaeda, T., Fujino, T., Verdegem, C. J. (2004). The effect of periphyton substrate density on production in freshwater polyculture ponds. *Aquaculture*, 232:441–53. doi:10.1016/j.aquaculture.2003.08.010
- Azim, M. E., Verdegem, M. C. J., Khatoon, H., Wahab, M. A., Van-Dam, A. A., Beveridge, M. C. M. (2002a). A comparison of fertilization, feeding and three periphyton substrates for increasing fish production in freshwater pond aquaculture in Bangladesh. *Aquaculture*, 212:227-243. doi: 10.1016/S0044-8486(02)00093-5
- Azim, M. E., Wahab, M. A., Verdegem, M. C. J., Van-Dam, A. A., Rooji, J. M. V., Beveridge, M. C. M. (2002b). The effects of artificial substrates on freshwater pond productivity and water quality and the implications for periphyton-based aquaculture. *Aquatic Living Resources*, 15:231-241. doi: 10.1016/S0990-7440(02)01179-8
- Azim, M. E., Wahab, M. A., Van-Dam, A. A., Beveridge, M. C. M., Huisman, E. E., Verdegem, M. C. J. (2001). Optimization of stocking ratios of two indian major carps, Rohu (*Labeo Rohita* Ham.) and Catla (*Catla Catla* Ham.) in a periphyton-based aquaculture system. *Aquaculture*, 203:33-49. doi:10.1016/S0044-8486(01)00602-0
- Ballester, E. L. C., Wasielesky-Jr, W., Cavalli, R. O., Abreu, P. C. (2007). Nursery of the pink shrimp *Farfantepenaeus paulensis* in cages with artificial substrates: Biofilm composition and shrimp performance. *Aquaculture*, 269:355–362. doi: 10.1016/j.aquaculture.2007.04.003
- Bernot, R. J., Lamberti, G. A. (2008). Indirect effects of a parasite on a benthic community: An experiment with trematodes, snails and periphyton. *Freshwater Biology*, 53:322–329. doi: 10.1111/j.1365-2427.2007.01896.x
- Bicudo, C. E. M., Menezes, M. (2006). Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave de identificação e descrições. Editora Rima. São Carlos, Brasil.
- Biodeg, J. B., Sibi, G. (2014). Biosorption of arsenic by living and dried biomass of fresh water microalgae - potentials and equilibrium studies. *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, 05:02-08. doi: 10.4172/2155-6199.1000249
- Biswas, G., Sundaray, J. K., Bhattacharyya, S. B., Shyne-Anand, P. S., Ghoshal, T. K., De, D., Kumar, P., Sukumaran, K., Bera, A., Mandal, B., Kailasam, M. (2017). Influence of feeding, periphyton and compost application on the performances of striped grey mullet (*Mugil cephalus* L.) fingerlings in fertilized brackishwater ponds. *Aquaculture*, 481:64–71. doi: 10.1016/j.aquaculture.2017.08.026

- Cao, Y., Zhang, N. Sun, J., Li, W. (2019). Responses of periphyton on non-plant substrates to different macrophytes under various nitrogen concentrations: A mesocosm study. *Aquatic Botany*, 154:53–59. doi: 10.1016/j.aquabot.2019.01.003
- Cavalcante, D. de H., Lima, F. R. dos S., Rebouças, V. T., Sá, M. V. C. (2017). Cultivo de juvenis de tilápia do nilo, *Oreochromis niloticus* em sistemas convencional, bioflocos e biofíton sob restrição alimentar. *Acta Scientiarum - Animal Sciences*, 39:223–228. doi: 10.4025/actascianimsci.v39i3.33574
- Cavalcante, D. H., Santos-Lima, F. R., Rebouças, V. T., Sá, M. V. C. (2016). Integração dos sistemas perifíton e bioflocos no cultivo intensivo de juvenis de tilápia do Nilo. *Acta Scientiarum – Animal Sciences*, 38:119-125. doi:10.4025/actascianimsci.v38i2.27592
- Chen, S., Yang, G. Lu, J., Wang, L. (2018). Water quality in simulated eutrophic shallow lakes in the presence of periphyton under different flow conditions. *Environmental Science and Pollution Research*, 25:4584–4595. doi: 10.1007/s11356-017-0747-y
- Chikorela, G., Chirwa, E. R., Mzengereza, K. (2019). Optimal stocking density of *Tilapia rendalli* (Boulenger, 1896) for increased growth in a periphyton based aquaculture system. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 14:33–38. doi: 10.3923/jfas.2019.33.38
- Cole, A. J., Tulsankar, S. S., Saunders, B. J., Fotedar, R. (2019). Effects of pond age and a commercial substrate (the water cleanser™) on natural productivity, bacterial abundance, nutrient concentrations, and growth and survival of Marron (*Cherax cainii* Austin, 2002) in semi-intensive pond culture. *Aquaculture*, 502:242–249. doi: 10.1016/j.aquaculture.2018.12.046
- David, L. H. C., Pinho, S. M., Garcia, F. (2018). Improving the sustainability of tilapia cage farming in Brazil: an emergy approach. *Journal of cleaner production*, 201:1012-1018. doi:10.1016/j.jclepro.2018.08.124
- De-Morais, A. P. M., Abreu, P. C., Wasielesky-Jr, W., Krummenauer, D. (2020). Effect of aeration intensity on the biofilm nitrification process during the production of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) in Biofloc and clear water systems. *Aquaculture*, 514:02-06. doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.734516
- Fleckenstein, L. J., Tierney, T. W., Fisk, J. C., Ray, A. J. (2019). Effects of supplemental LED lighting on water quality and Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) performance in intensive recirculating systems. *Aquaculture*, 504:219–226. doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.01.066
- Garcia, F., Romera, D. M., Sousa, N. S., Paiva-Ramos, I., Onaka, E. M. (2016). The potential of periphyton-based cage culture of Nile tilapia in a Brazilian reservoir. *Aquaculture*, 464: 229–235. doi:10.1016/j.aquaculture.2016.06.031
- Gatune, C., Vanreusel, A., De-Troch, M. (2017). Sunlight and sediment improve the environment of a litter biofilm-based shrimp culture system. *Aquaculture Environment Interactions*, 9:73–85. doi: 10.3354/aei00213
- Ge, H., Jian, L., Ping, C., Zhiquiang, C., Mingming, S., Fazhen, Z. (2017). Cultivation of green algae *Platymonas helgolandica* in rearing water enhances the growth performance and resistance of *Litopenaeus vannamei* against *Vibrio parahaemolyticus* infection. *Aquaculture International*, 25:1279–1290. doi: 10.1007/s10499-017-0113-6
- Gómez, R., Lucía, A., Enriquez-Ocaña, L. F., Miranda-Baeza, A., Esquivel, B. C., López-Elías, J. A., Martínez-Córdova, L. R. (2019). Biofilm-forming capacity of two benthic microalgae, *Navicula incerta* and *Navicula* sp., on three substrates (Naviculales: Naviculaceae). *Revista de Biología Tropical*, 67:599–607. doi: 10.15517/rbt.v67i3.35117

- Gordillo-Guerra, J. G., Guevara, G., Reinoso-Flórez, G. (2020). A practical device for evaluating periphyton colonization dynamics in tropical shallow wetlands. *Limnologica*, 81:125755. doi: 10.1016/j.limno.2020.125755
- Gorospe, J. R. C., Junio-Meñez, A., Southgate, P. C. (2019). Effects of shading on periphyton characteristics and performance of Sandfish, *Holothuria Scabra* Jaeger 1833, juveniles. *Aquaculture*, 512: 02-08.
- Guttman, L., Boxman, S. E., Barkan, R., Neori, A., Shpige, M. (2018). Combinations of *Ulva* and periphyton as biofilters for both ammonia and nitrate in mariculture fishpond effluents. *Algal Research*, 34:235–243. doi: 10.1016/j.algal.2018.08.002
- Han, W., Ma, S., Li, L., Zheng, X., Wang, X. (2018). Rheological properties of gluten and gluten-starch model doughs containing wheat bran dietary fibre. *International Journal of Food Science and Technology*, 53:2650–2656. doi: 10.1111/ijfs.13861
- Haque, M. R., Islam, M. A., Khatun, Z., Hossain, M. A., Wahab, M. A. (2018). Effects of stocking densities of tilapia *Oreochromis Niloticus* (Linnaeus, 1758) with the inclusion of silver carp *Hypophthalmichthys Molitrix* (Valenciennes, 1844) in C/N-CP prawn *Macrobrachium Rosenbergii* (De Man, 1879) culture pond. *Aquaculture International*, 26: 523–541. doi: 10.1007/s10499-017-0229-8
- Haque, M. R., Islam, M. A., Wahab, M. A., Hoq, M. E., Rahman, M. M., Azim, M. E. (2016). Evaluation of production performance and profitability of hybrid red tilapia and genetically improved farmed tilapia (GIFT) strains in the carbon/nitrogen controlled periphyton-based (C/N- CP) on-farm prawn culture system in Bangladesh. *Aquaculture Reports*, 4:101–110. doi: 10.1016/j.aqrep.2016.07.004
- Haque, M. R., Islam, M. A., Rahman, M. M., Shirin, M. F., Wahab M. A., Azim, M. E. (2015). Effects of C/N ratio and periphyton substrates on pond ecology and production performance in giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (De Man, 1879) and tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) polyculture system. *Aquaculture Research*, 46: 1139–1155. doi: 10.1111/are.12270
- Huchette, S. M. H., Beveridge, M. C. M., Baird, D. J., Ireland, M. (2000). The impacts of grazing by tilapias (*Oreochromis Niloticus* L.) on periphyton communities growing on artificial substrate in cages. *Aquaculture*, 186: 45–60. doi: 10.1016/S0044-8486(99)00365-8
- Jha, S., Rai, S., Shrestha, M., Diana, J. S., Mandal, R. B., Egna, H. (2018). Production of Periphyton to enhance yield in polyculture ponds with carps and small indigenous species. *Aquaculture Reports*, 9:74–81. doi: 10.1016/j.aqrep.2018.01.001
- Jiang, W., Ren, W., Li, L., Dong, S., Tian, X. (2020). Light and carbon sources addition alter microbial community in biofloc-based *Litopenaeus vannamei* culture systems. *Aquaculture*, 515:02-09. doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.734572
- Keshavanath, P., Gangadhar, B., Ramesh, T. J., Van-Dam, A. A., Beveridge, M. C. M., Verdegem, M. C. J. (2002). The Effect of periphyton and supplemental feeding on the production of the indigenous carps *Tor Khudree* and *Labeo Fimbriatus*. *Aquaculture*, 213:207–218. doi: 10.1016/S0044-8486(02)00034-0
- Khatoon, H., Fatimah, Y., Sanjoy, B., Mohamed, S., Japar, S. B. (2007). Formation of periphyton biofilm and subsequent biofouling on different substrates in nutrient enriched brackishwater shrimp ponds. *Aquaculture*, 273:470–477. doi: 10.1016/j.aquaculture.2007.10.040
- Kumar, S., Anand, P. S. S., Ravichandran, P., Panigrahi, A., Dayal, J. S., Raja, R. A., Deo, D., Ghoshal, T. K., Ponniah, A. G. (2015). Effect of periphyton on microbial dynamics, immune responses and growth performance in black tiger shrimp *Penaeus monodon* Fabricius, 1798. *Indian Journal of Fisheries*, 62:67–74

- Lalramchhani, C., Paran, B. C., Anand, P. S. S. S., Ghoshal, T. K., Kumar, P., Vijayan, K. K. (2020). Integrated rearing system approach in the farming of mud crab, shrimp, fish, oyster and periphyton in brackishwater pond. *Aquaculture Research*, 2019: 1–8. doi: 10.1111/are.14758
- Larned, S. T. (2010). A prospectus for periphyton: Recent and future ecological research. *Journal of the North American Benthological Society*, 29:182–206. doi: 10.1899/08-063.1
- Levy, A., Milstein, A., Neori, A., Harpaz, S., Shpigel, M., Guttman, L. (2017). Marine periphyton biofilters in mariculture effluents: Nutrient uptake and biomass development. *Aquaculture*, 473:513–520. doi: 10.1016/j.aquaculture.2017.03.018
- Li, Q., Gu, P., Ji, X., Li, H., Zhang, J., Zheng, Z. (2020). Response of submerged macrophytes and periphyton biofilm to water flow in eutrophic environment: Plant structural, physicochemical and microbial properties. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 189:02-09. doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.109990
- Lopez, A. R., Funk, D. H., Buchwalter, D. B. (2017). Arsenic (V) bioconcentration kinetics in freshwater macroinvertebrates and periphyton is influenced by pH. *Environmental Pollution*, 224:82–88. doi: 10.1016/j.envpol.2016.12.066
- Lu, H., Feng, Y., Wang, J., Wu, Y., Shao, H., Yang, L. (2016). Responses of Periphyton morphology, structure, and function to extreme nutrient loading. *Environmental Pollution*, 214:878–884. doi: 10.1016/j.envpol.2016.03.069
- Martinez-Porchas, M., Ezquerro-Brauer, M., Mendoza-Cano, F., Chan-Higuera, J. E., Vargas-Albores, F., Martinez-Córdova, L. R. (2020). Effect of supplementing heterotrophic and photoautotrophic biofloc, on the production response, physiological condition and post-harvest quality of the whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*?, *Aquaculture Reports*, 16:02-09. doi: 10.1016/j.aqrep.2019.100257
- Milstein, A., Peretz, Y., Harpaz, S. (2008). Comparison of periphyton grown on different substrates as food for organic tilapia culture. *Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgeh*, 60:243–252
- Mohapatra, B. C., Bikash, C., Hrshiksha S., Sudeep, K. M., Sacharita, L., Anantharaja, K., Pallipura, Jayasankar. (2016). Growth of periphyton on different plastic materials in freshwater medium. *Pelagia Research Library Advances in Applied Science Research*, 7:228–234
- Moschini, C.V. (1999). Importância, estrutura e dinâmica da comunidade perifítica nos ecossistemas aquáticos continentais. In: Pompêo, M. L. M. *Perspectivas na limnologia do Brasil*. Editora União. São Luís, Brasil. pp.01-11.
- Mridula, R. M., Manissery, J. K., Keshavanath, P., Shankar, K. M., Nandeesha, M. C., Rajesh, K. M. (2003). Water quality, biofilm production and growth of fringe-lipped carp (*Labeo fimbriatus*) in tanks provided with two solid substrates. *Bioresource Technology*, 87:263–267. doi: 10.1016/S0960-8524(02)00228-6
- Rai, S., Yi, Y. (2012). Nibbling Frequency of carps in periphyton-based aquaculture systems with and without supplemental feed. *Israeli Journal of Aquaculture – Bamidgeh*, 64:02-06.
- Ren, W., Li, L., Dong, S., Tina, X., Xue, Y. (2019). Effects of C/N ratio and light on ammonia nitrogen uptake in *Litopenaeus vannamei* culture tanks. *Aquaculture*, 498:123–131. doi: 10.1016/j.aquaculture.2018.08.043
- Richard, M., Trottier, C., Verdegem, M. C. J., Hussenot, M. E. (2009). Submersion time, depth, substrate type and sampling method as variation sources of marine periphyton. *Aquaculture*, 295:209–217. doi: 10.1016/j.aquaculture.2009.07.005

- Ruby, P., Ahilan, B., Prabu, E., (2018) Periphyton based aquaculture: A review. *Aqua Trop*, 33:51–64.
- Saikia, S. K., Das, D. N. (2009). Potentiality of periphyton-based aquaculture technology in rice-fish environment. *Journal of Scientific Research*, 1:624–634. doi: 10.3329/jsr.v1i3.2114
- Santhana-Kumar, V., Pandey, P. K., Anand, T., Bhuvaneswari, R., Kumar, S. (2017). Effect of periphyton (aquamat) on water quality, nitrogen budget, microbial ecology, and growth parameters of *Litopenaeus vannamei* in a semi-intensive culture system. *Aquaculture*, 479:240–249. doi: 10.1016/j.aquaculture.2017.05.048
- Schweitzer, R., Arantes, R., Baloi, M F., Costódio, P. F. S., Arana, L. V., Seiffert, W. Q., Andreatta, E. R. (2013). Use of artificial substrates in the culture of *Litopenaeus vannamei* (Biofloc System) at different stocking densities: Effects on microbial activity, water quality and production rates. *Aquacultural Engineering*, 54:93–103. doi: 10.1016/j.aquaeng.2012.12.003
- Solak, N. C., Kaleli, A., Baytut, Ö. (2016). The distribution of cymbelloid diatoms in yalova runningwaters. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 16:953–959. doi: 10.4194/1303-2712-v16
- Uddin, M. S., Farzana, A., Fatema, M. K., Azim, M. E., Wahab, M. A., Verdegem, M. C. J. (2007). Technical evaluation of tilapia (*Oreochromis Niloticus*) monoculture and tilapia-prawn (*Macrobrachium Rosenbergii*) polyculture in earthen ponds with or without substrates for periphyton development. *Aquaculture*, 269:232–240. doi: 10.1016/j.aquaculture.2007.05.038
- Van-Dam, A. A., Beveridge, M. C. M., Azim, M. E., Verdegem, M. C. J. (2002). The potential of fish production based on periphyton. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 12:1–31. doi: 10.1023/A:1022639805031
- Wei, Y. F., Wang, A. L., Liao, S. A. (2020). Effect of different carbon sources on microbial community structure and composition of ex-situ biofloc formation. *Aquaculture*, 515:02-07. doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.734492
- Wolska, M., Mazurkiewicz-Zapałowicz, K. (2013). Parasites of zooplankton and periphyton assemblages in the littoral zone of lakes in Drawa National Park, Poland. *Acta Mycologica*, 48:51–59. doi: 10.5586/am.2013.007
- Wu, Y. (2017). *Periphyton: functions and application in environmental remediation*. Editora Elsevier. China.
- Xu, W. J., Morris, T. C., Samocha, T. M. (2016). Effects of C/N ratio on biofloc development, water quality, and performance of *Litopenaeus vannamei* juveniles in a biofloc-based, high-density, zero-exchange, outdoor tank system. *Aquaculture*, 453:169–175. doi: 10.1016/j.aquaculture.2015.11.021

Recibido: 01-07-2022

Aprobado: 22-07-2022

Versión final: 27-07-2022

