

BACTÉRIAS NITRIFICANTES APLICÁVEIS NA ÁGUA SOBRE A MODULAÇÃO METABÓLICA DE PEIXES

Ismael Berti Ferreira¹, Diogo de Oliveira Marques², Stefania Caroline Claudino Silva²

¹ Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil (ismaelbfzootec@gmail.com)

² Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil

Resumo: A expansão da aquicultura intensiva visa atender à demanda global por alimentos, mas gera grandes volumes de resíduos. A amônia acumulada é altamente citotóxica, provocando diversos problemas à saúde dos peixes. Esta revisão analisa a ação das bactérias nitrificantes na água e seus efeitos indiretos na modulação metabólica dos peixes. O processo de nitrificação é mediado por bactérias oxidadoras de amônia (AOB) e de nitrito (NOB). Conclui-se que o manejo ecológico do microbioma da água para garantir o desempenho zootécnico dos peixes é crucial.

Palavras-chave: Amônia; Compostos Nitrogenados; Nitrogênio Amoniacal; Oxidação; Bem-estar Animal.

INTRODUÇÃO

A demanda global total por alimentos tende a aumentar de 35% a 56% entre 2010 e 2050 (Van Dijk et al., 2021) e a aquicultura mundial consolidou-se como um dos setores de produção de proteína animal de crescimento mais rápido nas últimas décadas, tornando-se essencial para a segurança alimentar global (Boyd, 2020), no entanto o aumento de produção acarreta em maior geração de efluentes, sendo necessário usar métodos alternativos de gestão de resíduos na aquicultura. O sistema de recirculação (RAS) foi desenvolvido a fim de superar limitações da sustentabilidade e capacidade de estocagem (Martins et al., 2010). Dentre algumas vantagens do sistema está a redução do consumo de água reduzindo cerca de 90 a 99% (Badiola et al., 2012).

Como o sistema RAS permite maior taxa de estocagem de animais, consequentemente os resíduos que podem causar eutrofização da água aumentam, sendo provenientes de restos de rações e excretas dos peixes (Al Tawaha et al., 2021). As bactérias desempenham um papel extremamente importante na qualidade da água, reduzindo por meio de sua metabolização, os níveis de amônia (Baskaran et al., 2020). A eficiência desses sistemas depende diretamente da manutenção de processos biológicos capazes de remover os compostos nitrogenados tóxicos gerados durante a produção.

A nitrificação representa um dos principais mecanismos de manutenção da qualidade da água, sendo conduzida por comunidades microbianas especializadas que convertem a amônia em nitrito e, posteriormente, em nitrato, reduzindo a toxicidade do ambiente de cultivo (Bartelme et al., 2017).

Tradicionalmente, esse processo era atribuído principalmente aos gêneros *Nitrosomonas*, *Nitrobacter* e *Nitrospira*, porém estudos recentes demonstram que biofilmes maduros apresentam elevada diversidade microbiana, incluindo bactérias comammox e arqueias oxidantes de amônia, cujas interações ecológicas aumentam a estabilidade e a eficiência da biofiltração (Godzieba et al., 2024; Qiu et al., 2025). Dessa forma, compreender a dinâmica das bactérias nitrificantes e sua relação com a qualidade da água e a modulação metabólica dos organismos cultivados torna-se essencial para o desenvolvimento de sistemas aquícolas mais eficientes, sustentáveis e ambientalmente seguros.

Com o avanço das técnicas de biologia molecular e metagenômica, que permitem identificar a diversidade microbiana e compreender as interações ecológicas responsáveis pela estabilidade dos biofiltros (Naranjo-Robayo et al., 2025). Essas informações têm contribuído para o desenvolvimento de estratégias de bioaumentação, otimização de biofilmes e aprimoramento dos sistemas de recirculação, visando aumentar a eficiência da remoção de compostos nitrogenados e reduzir os impactos ambientais da aquicultura intensiva.

Esta revisão tem o objetivo de esquematizar as ações bacterianas sobre a água de cultivo e seus efeitos na produção intensiva aquícola, focando principalmente em artigos mais recentes (publicados nos últimos 10 anos) sobre bactérias nitrificantes.

DESENVOLVIMENTO

O aumento da densidade acumula nitrogênio e fósforo que eleva os níveis de amônia causando



intoxicação de peixes e eutrofização da água. O nitrogênio amoniacal é o principal poluente consumidor de oxigênio em ambientes aquáticos, quando absorvido pelos peixes entra na corrente sanguínea e afeta as propriedades hematológicas, além de desequilibrar a capacidade antioxidante e causar danos oxidativos. Também afeta a resposta imune e causa neurotoxicidade devido à sua toxicidade física e química (Xu et al., 2021). Os peixes teleósteos são majoritariamente organismos amoniotéticos, o que significa que excretam até 80-90% do seu nitrogênio residual na forma de amônia através das brânquias, por difusão passiva ou via transportadores glicoproteicos específicos conhecidos como proteínas Rhesus (Rh) (Ip & Chew, 2010).

Um dos principais índices de qualidade da água é a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), um importante indicador do grau de poluição orgânica em corpos d'água. Os métodos tradicionais são complexos e dependem de medições químicas precisas do oxigênio dissolvido (Arlyapov et al., 2022; Zhang et al., 2025), essa análise pode fornecer informações relevantes sobre a natureza da poluição, o teor de matéria orgânica e seu grau de biodegradabilidade (National Research et al., 2022).

Acredita-se que as espécies *Nitrosomonas* (oxidantes de amônia), *Nitrospira* e *Nitrobacter* (oxidantes de nitrito) sejam os principais nitrificadores presentes nos biofiltros dos sistemas de recirculação (Bartelme et al., 2017). Arima, 2025 desenvolveu uma comunidade bacteriana capaz de nitrificar eficientemente 1 mM de amônia em 1 dia a 15 °C, o sequenciamento aferido de amplicons revelou que *Nitrosomonadaceae* e *Nitrospirales* foram os principais grupos responsáveis pela oxidação de amônia e nitrito, onde medições regulares confirmaram a remoção eficaz de amônia e nitrito. Zhang, 2025, tratou peixes com biofilmes nitrificantes redutores de nitrogênio amoniacal, os peixes apresentaram respostas de estresse sistêmico significativamente reduzidas, evidenciadas pela diminuição das concentrações séricas de cortisol, glicose e lactato desidrogenase, também reduziu alterações histopatológicas nos tecidos branquiais e hepáticos, além de preservar as fibras musculares conservando a qualidade muscular durante e após o transporte de peixes. Esses efeitos surgem de maneira indireta a partir da redução do estresse consequente da redução dos níveis de amônia.

Em um estudo conduzido em um sistema de aquaponia com tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*), tilápia-vermelha (*Oreochromis sp.*) e cachama-branca (*Piaractus orinoquensis*), observou-se que a abundância de bactérias nitrificantes aumentou progressivamente ao longo de seis meses de operação, evidenciando o processo de maturação do biofiltro e o estabelecimento de uma comunidade

microbiana estável. Em um estudo conduzido em um sistema de aquaponia com tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*), tilápia-vermelha (*Oreochromis sp.*) e cachama-branca (*Piaractus orinoquensis*), observou-se que a abundância de bactérias nitrificantes aumentou progressivamente ao longo de seis meses de operação, evidenciando o processo de maturação do biofiltro e o estabelecimento de uma comunidade microbiana estável (Naranjo-Robayo et al., 2025).

A inoculação de bactérias ácido-láticas também auxilia na redução de nitrogênio amoniacal total, tratamentos com *B. licheniformis*, *Pediococcus pentosaceus* e *Leuconostoc mesenteroides* aumentaram os níveis de nitrito, comprovando a oxidação amoniacal, a inoculação contribui indiretamente para o aumento de peso e sobrevivência de espécies aquícolas (Vega-carranza et al., 2024).

Em um estudo realizado com o camarão-branco-do-Pacífico (*Litopenaeus vannamei*), a inoculação de *Pseudomonas sp. HIB_D* em diferentes concentrações promoveu melhorias significativas na qualidade da água e no desempenho produtivo dos animais. O tratamento com a maior densidade bacteriana (10^9 UFC mL⁻¹) apresentou maior eficiência na redução da amônia, acelerando sua conversão em nitrato e mantendo as concentrações de nitrito em níveis seguros durante todo o período experimental. Como consequência, os camarões apresentaram maior taxa de sobrevivência (94,3%), maior ganho de peso e comprimento, maior taxa específica de crescimento e melhor conversão alimentar em comparação ao grupo controle. Os autores destacam ainda que a aplicação periódica da bactéria favoreceu o equilíbrio microbiológico do sistema, contribuiu para a estabilização do pH e auxiliou no controle da matéria orgânica e da demanda bioquímica de oxigênio (Hastuti et al., 2023).

Pertencentes à classe Betaproteobacteria, as bactérias do gênero *Nitrosomonas* são conhecidas como as principais Bactérias Oxidadoras de Amônia (AOB) em ambientes de água doce e salobra. Elas utilizam a enzima amônia monooxigenase (AMO) para converter NH₃ em hidroxilamina (NH₂OH), que é subsequentemente convertida em nitrito pela hidroxilamina oxidoredutase (HAO). Apresentam crescimento relativamente lento e alta sensibilidade a variações bruscas de pH e oxigênio dissolvido (Qui et al., 2025).

Também pertencentes às Betaproteobacteria, as espécies de *Nitrospira* são frequentemente identificadas em sistemas de cultivo que operam com baixas concentrações de amônia ou em solos de viveiros escavados (Mcknight & Neufeld, 2024).

Estudos moleculares recentes indicam que a *Nitrospira* pode competir diretamente com *Nitrosomonas* em biofiltros de sistemas de recirculação aquícola (RAS), demonstrando maior resiliência a flutuações de temperatura em regiões de clima temperado ou transições sazonais (Zhang et al., 2023).

Classificado como uma Bactéria Oxidadora de Nitrito (NOB) pertencente à classe Alphaproteobacteria, o gênero *Nitrobacter* foi o primeiro a ser isolado e descrito na conversão de nitrito a nitrato através da enzima nitrito oxidoreductase (NXR). Embora eficiente em cenários com altas concentrações de nitrito, *Nitrobacter* possui uma afinidade pelo substrato comparativamente menor (maior constante de Michaelis-Menten) do que outros gêneros, limitando sua dominância em sistemas aquícolas estabilizados com baixa carga de nutrientes (Bartelme et al., 2017; Daims et al., 2016).

O gênero *Nitrospira* (filó Nitrospirota) é atualmente reconhecido como a NOB predominante na maioria dos sistemas de aquicultura de recirculação e bioflocos (Moschos et al., 2022; Keuter et al., 2011). De acordo com Gomez et al. (2022), sua alta afinidade pelo nitrito permite que mantenha os níveis desse íon tóxico próximos a zero. Além disso, as espécies de *Nitrospira* adaptam-se melhor a condições de oxigênio moderadamente limitado quando comparadas ao gênero *Nitrobacter* (Park et al., 2017).

A descoberta de linhagens do gênero *Nitrospira* capazes de realizar a oxidação completa da amônia diretamente a nitrato revolucionou a microbiologia ambiental. Esses microrganismos, denominados Comammox (*Complete Ammonia Oxidation*), possuem todo o aparato genético necessário (genes *amo*, *hao* e *nxr*) em um único genoma (Li et al., 2021). Em sistemas de aquicultura, a presença de bactérias Comammox confere uma vantagem ecológica crucial, pois otimiza a eficiência energética da nitrificação e reduz drasticamente o risco de acúmulo de nitrito residual intermediário, oferecendo maior estabilidade fisiológica para os peixes cultivados (Yang et al., 2024).

A intensificação da piscicultura promove alterações significativas na dinâmica microbiológica dos sedimentos, favorecendo o desenvolvimento de comunidades bacterianas nitrificantes responsáveis pela transformação dos compostos nitrogenados. No Lago Guamuez, na Colômbia, foi observado que áreas sob influência direta de cultivos piscícolas apresentaram maior abundância de bactérias nitrificantes em comparação com áreas sem atividade aquícola, evidenciando que o incremento da carga orgânica e da disponibilidade de amônio atua como

fator seletivo para esses microrganismos. Os autores verificaram ainda que os sedimentos funcionam como importantes reservatórios de comunidades nitrificantes, desempenhando papel essencial na ciclagem biogeoquímica do nitrogênio e contribuindo para a autodepuração do ambiente aquático (Burbano-Gallardo et al., 2021). Dessa forma, as bactérias exercem a função de oxidar a amônia em compostos nitrogenados menos tóxicos (ver imagem 1).

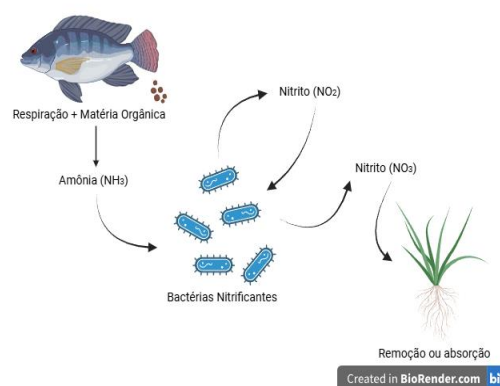


Figura 1. Ciclo de oxidação da amônia.

Diferentemente da visão tradicional, que atribui a oxidação da amônia exclusivamente às bactérias dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, evidências recentes demonstram que microrganismos como as bactérias comammox do gênero *Nitrospira* e as arqueias oxidantes de amônia (AOA) desempenham papel central na ciclagem do nitrogênio em biofiltros maduros. Essas comunidades estabelecem relações cooperativas que favorecem a conversão contínua da amônia em nitrato, mantendo baixas concentrações de compostos nitrogenados tóxicos mesmo diante de oscilações na carga orgânica e na alimentação dos peixes. O estudo também demonstrou que a composição da comunidade nitrificante sofre alterações em resposta ao regime alimentar, indicando que o fornecimento de substrato nitrogenado influencia diretamente a abundância e a competitividade desses microrganismos (Godzieba et al., 2024). O processo de maturação de biofiltros é gradual e depende da colonização sucessiva de microrganismos autotróficos, cuja atividade é influenciada por fatores como temperatura, oxigênio dissolvido, pH, alcalinidade e disponibilidade de amônio. Durante a fase inicial de operação, a capacidade de nitrificação é limitada, favorecendo o acúmulo de amônia e nitrito; entretanto, à medida que o biofilme se desenvolve, observa-se aumento expressivo da taxa de conversão desses compostos em nitrato,



resultando em maior estabilidade da qualidade da água (Crab et al., 2007).

Miura et al, 2026, investigou os mecanismos que controlam a nitrificação e a emissão de óxido nitroso (N_2O) em reatores de biofilme aerado por membrana (MABR – Membrane Aerated Biofilm Reactor) aplicando um biofilme com aproximadamente 68 μm de espessura apresentou taxa de nitrificação próxima ao máximo do sistema, alcançando cerca de 4,45 g N $m^{-2} dia^{-1}$. Aproximadamente 79% das AOB detectadas apresentavam atividade transcricional, indicando intensa oxidação de amônia. Os pesquisadores também verificaram que a produção de N_2O estava associada ao acúmulo de nitrito, havendo correlação positiva significativa entre a concentração de nitrito e a emissão de N_2O , logo, os resultados sugerem que o principal mecanismo de geração de N_2O foi a desnitrificação em microzonas anóxicas presentes dentro do biofilme, seguida pela difusão do gás para o interior da membrana. A eficiência da nitrificação em sistemas aquícolas depende diretamente da formação e estabilidade dos biofilmes microbianos. Estudos recentes demonstram que diferentes mídias de suporte promovem comunidades bacterianas distintas, influenciando a conversão da amônia em nitrato, a qualidade da água e a estabilidade do ecossistema aquático reduzindo a exposição dos peixes à amônia, minimizando o estresse fisiológico e contribuindo para melhor desempenho metabólico e produtivo (Hamed et al., 2026).

A estabilidade ecológica do biofilme não depende apenas da presença de bactérias nitrificantes clássicas, mas da manutenção de uma comunidade microbiana diversificada e metabolicamente integrada, capaz de garantir elevada eficiência da biofiltração. Esses resultados possuem grande relevância para sistemas de recirculação aquícola (RAS), uma vez que a manutenção de baixas concentrações de amônia reduz o estresse fisiológico dos peixes, diminui o gasto energético destinado aos processos de desintoxicação e osmorregulação e favorece o direcionamento da energia para crescimento, resposta imune e eficiência alimentar (Godzieba et al., 2024). A manutenção de comunidades nitrificantes ativas constitui um dos principais mecanismos naturais de mitigação dos impactos ambientais da piscicultura, reduzindo o acúmulo de amônia e nitrito e preservando condições adequadas para o desenvolvimento dos organismos cultivados. Sob a perspectiva da fisiologia dos peixes, a maior eficiência da nitrificação diminui a exposição a compostos nitrogenados tóxicos, reduz o estresse metabólico e os custos energéticos relacionados à desintoxicação e à osmorregulação, favorecendo o crescimento, a eficiência alimentar e a

resposta imunológica (Burbano-Gallardo et al., 2021).

CONCLUSÃO

A crescente intensificação da aquicultura impõe desafios significativos relacionados à manutenção da qualidade da água e ao gerenciamento dos resíduos nitrogenados, tornando indispensável o desenvolvimento de estratégias sustentáveis para garantir a produtividade e o bem-estar dos organismos cultivados. Nesse contexto, as bactérias nitrificantes desempenham papel fundamental na ciclagem do nitrogênio, promovendo a conversão da amônia e do nitrito em nitrato e reduzindo a toxicidade desses compostos no ambiente de cultivo. Como consequência, ocorre diminuição do estresse fisiológico dos peixes, preservação da integridade dos tecidos, melhoria da resposta imunológica e maior disponibilidade de energia para crescimento, reprodução e eficiência alimentar.

Os avanços recentes na microbiologia ambiental demonstram que a eficiência da biofiltração não depende exclusivamente de gêneros clássicos, como *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, mas da interação entre comunidades microbianas complexas, incluindo *Nitrospira* com capacidade comammox, arqueias oxidantes de amônia (AOA) e outros microrganismos capazes de estabelecer redes metabólicas cooperativas. Além disso, fatores como maturação dos biofilmes, características do material filtrante, disponibilidade de oxigênio, temperatura, pH, alcalinidade e concentração de compostos nitrogenados influenciam diretamente a estabilidade dessas comunidades e, consequentemente, a eficiência da nitrificação em sistemas de recirculação aquícola.

Os estudos analisados também evidenciam que a inoculação dirigida de microrganismos benéficos e o monitoramento da estrutura do microbioma representam estratégias promissoras para otimizar a qualidade da água, reduzir a demanda bioquímica de oxigênio, aumentar a estabilidade ecológica dos sistemas e minimizar os impactos ambientais decorrentes da intensificação da produção aquícola. A aplicação dessas tecnologias favorece não apenas a sustentabilidade dos sistemas de recirculação (RAS), mas também contribui para maior desempenho zootécnico dos organismos cultivados, refletido em melhores índices de sobrevivência, crescimento e conversão alimentar.

Dessa forma, conclui-se que o manejo adequado das comunidades nitrificantes constitui um dos principais pilares da aquicultura moderna, integrando aspectos microbiológicos, fisiológicos e ambientais. Entretanto, ainda são necessários estudos que aprofundem a compreensão das interações entre os diferentes grupos de microrganismos, a expressão



de genes relacionados à nitrificação e à desnitrificação, bem como os efeitos dessas comunidades sobre a modulação metabólica e imunológica de diferentes espécies aquícolas. O avanço desse conhecimento permitirá o desenvolvimento de biofiltros mais eficientes, inoculantes microbianos mais específicos e estratégias de manejo capazes de elevar simultaneamente a produtividade, a biossegurança e a sustentabilidade da aquicultura.

REFERÊNCIAS

- AHMED, Amal Ben *et al.* Impact of biofilm support media on microbial dynamics, rocket (*Eruca vesicaria* subsp. *sativa*) growth, and antioxidative content in aquaponics. **BMC plant biology**, v. 26, n. 1, p. 575, 24 fev. 2026.
- AL TAWAHA, Abdel *et al.* Effects of Fish Stocking Density on Water Quality, Growth Performance of Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Yield of Butterhead Lettuce (*Lactuca sativa*) Grown in Decoupled Recirculation Aquaponic Systems. **Journal of Ecological Engineering**, v. 22, n. 1, p. 8–19, 1 jan. 2021.
- ARIMA, Jiro *et al.* Development of a nitrifying bacterial community for a low temperature recirculating aquaculture system. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 41, n. 4, p. 123, abr. 2025.
- ARLYAPOV, Vyacheslav A. *et al.* Microbial Biosensors for Rapid Determination of Biochemical Oxygen Demand: Approaches, Tendencies and Development Prospects. **Biosensors**, v. 12, n. 10, p. 842, 8 out. 2022.
- BADIOLA, Maddi; MENDIOLA, Diego; BOSTOCK, John. Recirculating Aquaculture Systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges. **Aquacultural Engineering**, v. 51, p. 26–35, nov. 2012.
- BARTELME, Ryan P.; MCLELLAN, Sandra L.; NEWTON, Ryan J. Freshwater Recirculating Aquaculture System Operations Drive Biofilter Bacterial Community Shifts around a Stable Nitrifying Consortium of Ammonia-Oxidizing Archaea and Comammox Nitrospira. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, 30 jan. 2017.
- BASKARAN, Viswanathan *et al.* Microbial community profiling of ammonia and nitrite oxidizing bacterial enrichments from brackishwater ecosystems for mitigating nitrogen species. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 5201, 23 mar. 2020.
- BOYD, Claude E. **Water Quality: An Introduction**. Cham: Springer International Publishing, 2020.
- BURBANO-GALLARDO, Elizabeth *et al.* Efecto de cultivos piscícolas en los sedimentos y la proliferación de comunidades bacterianas nitrificantes en el lago Guamez, Colombia. **Ciencia & Tecnología Agropecuaria**, v. 22, n. 2, 20 maio 2021.
- CRAB, Roselien *et al.* Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. **Aquaculture**, v. 270, n. 1–4, p. 1–14, set. 2007.
- DAIMS, Holger; LÜCKER, Sebastian; WAGNER, Michael. A New Perspective on Microbes Formerly Known as Nitrite-Oxidizing Bacteria. **Trends in Microbiology**, v. 24, n. 9, p. 699–712, set. 2016.
- GODZIEBA, Martyna; HLIWA, Piotr; CIESIELSKI, Sławomir. Network of Nitrifying Bacteria in Aquarium Biofilters: An Unfaltering Cooperation Between Comammox Nitrospira and Ammonia-Oxidizing Archaea. **Water**, v. 17, n. 1, p. 52, 28 dez. 2024.
- HASTUTI, Yuni Puji *et al.* Application of a nitrifying bacterium *Pseudomonas* sp. HIB_D to reduce nitrogen waste in the *Litopenaeus vannamei* cultivation environment. **Aquaculture International: Journal of the European Aquaculture Society**, p. 1–17, 15 maio 2023.
- IP, Yuen K.; CHEW, Shit F. Ammonia production, excretion, toxicity, and defense in fish: a review. **Frontiers in Physiology**, v. 1, p. 134, 2010.
- KEUTER, Sabine *et al.* Relevance of *Nitrospira* for nitrite oxidation in a marine recirculation aquaculture system and physiological features of a *Nitrospira marina*-like isolate. **Environmental Microbiology**, v. 13, n. 9, p. 2536–2547, set. 2011.
- LI, Jiyun *et al.* Selective enrichment and metagenomic analysis of three novel comammox *Nitrospira* in a urine-fed membrane bioreactor. **ISME Communications**, v. 1, n. 1, p. 7, 1 dez. 2021.
- MARTINS, C. I. M. *et al.* New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. **Aquacultural Engineering**, v. 43, n. 3, p. 83–93, nov. 2010.
- MCKNIGHT, Michelle M.; NEUFELD, Josh D. Comammox *Nitrospira* among dominant ammonia oxidizers within aquarium biofilter microbial communities. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 90, n. 7, p. e00104-24, 24 jul. 2024.
- MIURA, Hiroto; KIGO, Yunje; TERADA, Akihiko. Mechanistic drivers of high-rate nitrification and N₂O emission in thin membrane-aerated biofilms: Insights from integrated micro-scale characterization. **Water Research**, v. 295, p. 125559, maio 2026.



MOSCHOS, Stefanos; KORMAS, Konstantinos Ar.; KARAYANNI, Hera. Prokaryotic diversity in marine and freshwater recirculating aquaculture systems.

Reviews in Aquaculture, v. 14, n. 4, p. 1861–1886, set. 2022.

NARANJO-ROBAYO, N.; CASTRO-GONZÁLEZ, M.; GÓMEZ-RAMÍREZ, E. 2025. Quantificação e caracterização de bactérias nitrificantes isoladas de um sistema aquíponico. *Rev. UDCA Act. & Div. Cient.* 28(1):e2653.

NATIONAL RESEARCH AND DEVELOPMENT INSTITUTE FOR INDUSTRIAL ECOLOGY *et al.*

Correlation between BOD5 and COD – biodegradability indicator of wastewater. **Romanian Journal of Ecology & Environmental Chemistry**, v. 4, n. 2, p. 80–86, 28 dez. 2022.

PARK, Mee-Rye; PARK, Hongkeun; CHANDRAN, Kartik. Molecular and Kinetic Characterization of Planktonic *Nitrospira* spp. Selectively Enriched from Activated Sludge. **Environmental Science & Technology**, v. 51, n. 5, p. 2720–2728, 7 mar. 2017.

QIU, Haojie *et al.* Ammonia-oxidizing activity and microbial structure of ammonia-oxidizing bacteria, ammonia-oxidizing archaea and complete ammonia oxidizers in biofilm systems with different salinities.

Bioresource Technology, v. 423, p. 132248, maio 2025.

VAN DIJK, Michiel *et al.* A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. **Nature Food**, v. 2, n. 7, p. 494–501, 21 jul. 2021.

VEGA-CARRANZA, Ana Sofia *et al.* Investigating the Effect of Bacilli and Lactic Acid Bacteria on Water Quality, Growth, Survival, Immune Response, and Intestinal Microbiota of Cultured *Litopenaeus vannamei*. **Animals**, v. 14, n. 18, p. 2676, 14 set. 2024.

XU, Zhenkun *et al.* Toxic Effects on Bioaccumulation, Hematological Parameters, Oxidative Stress, Immune Responses and Tissue Structure in Fish Exposed to Ammonia Nitrogen: A Review. **Animals**, v. 11, n. 11, p. 3304, 19 nov. 2021.

YANG, Xueqin *et al.* Unraveling the important role of comammox *Nitrospira* to nitrification in the coastal aquaculture system. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, p. 1355859, 23 abr. 2024.

ZHANG, Wenqian *et al.* Comparision of nitrogen removal characteristic and microbial community in freshwater and marine recirculating aquaculture systems. **Science of The Total Environment**, v. 878, p. 162870, jun. 2023.

ZHANG, Xu *et al.* Biochemical Oxygen Demand Prediction Based on Three-Dimensional Fluorescence Spectroscopy and Machine Learning. **Sensors**, v. 25, n. 3, p. 711, 24 jan. 2025.

do texto. Referências não exemplificadas deverão seguir ABNT.