



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**



**INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS CÂMPUS
DO LITORAL PAULISTA**

JULIA PANULA VALENTE

**COMPARAÇÃO DA ESTRUTURA MICROBIANA EM SISTEMAS DE
MONOCULTIVO E AQUICULTURA MULTITRÓFICA SOB A
PERSPECTIVA DA TEORIA ECOLÓGICA r/K : UMA REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA**

**São Vicente - SP
2025**



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”



INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
CÂMPUS DO LITORAL PAULISTA

JULIA PANULA VALENTE

**COMPARAÇÃO DA ESTRUTURA MICROBIANA EM SISTEMAS DE
MONOCULTIVO E AQUICULTURA MULTITRÓFICA SOB A PERSPECTIVA DA
TEORIA ECOLÓGICA r/K : UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto de Biociências da UNESP – Campus do Litoral Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título bacharel em Ciências Biológicas, com habilitação em Gerenciamento Costeiro

Orientadora: Alessandra Augusto

Coorientador: Rodrigo Schweitzer

**São Vicente - SP
2025**

V154c Valente, Julia
Comparação da estrutura microbiana em sistemas de monocultivo e
aquicultura multitrófica sob a perspectiva da teoria ecológica r/K: uma revisão
bibliográfica / Julia Valente. -- São Vicente, 2025
22 f. : tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciências Biológicas) - Universidade
Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, São Vicente
Orientadora: Alessandra Augusto
Coorientador: Rodrigo Schweitzer

1. Aquicultura. 2. Microbiologia. 3. Ecologia. 4. Monocultura. 5. Aquicultura
multitrófica integrada. I. Título.

Resumo

A expansão da aquicultura global tem levantado preocupações quanto aos impactos ambientais gerados pelos sistemas tradicionais de monocultivo, caracterizados pela elevada descarga de efluentes ricos em matéria orgânica e nutrientes. Esses sistemas frequentemente resultam em eutrofização, proliferação de bactérias oportunistas e patogênicas, e desequilíbrios microbianos, demandando intervenções tecnológicas dispendiosas para manter a qualidade da água. Como alternativa, a Aquicultura Multitrófica Integrada (IMTA) surge como uma abordagem sustentável, baseada no cultivo simultâneo de organismos de diferentes níveis tróficos, que atuam de forma sinérgica na reciclagem de nutrientes e na mitigação de impactos ambientais. Este trabalho teve como objetivo realizar uma revisão bibliográfica comparativa entre sistemas de monocultivo e Aquicultura Multitrófica Integrada, com foco na estrutura das comunidades bacterianas associadas, analisando-as sob a perspectiva da teoria ecológica r/K . Para isso, foram selecionados e avaliados quatro artigos científicos publicados entre 2022 e 2024, obtidos em bases de dados como Web of Science, ScienceDirect e Google Scholar, utilizando descritores relacionados à aquicultura, comunidades microbianas e estratégias tróficas bacterianas. Os resultados demonstram que os sistemas de monocultivo tendem a favorecer ambientes copiotróficos, com predominância de bactérias r -estrategistas (ex.: *Flavobacteriales*, *Bacteroidales*), adaptadas a condições de alta disponibilidade de nutrientes e associadas a instabilidade ecológica e surtos de doenças. Em contrapartida, os sistemas Aquicultura Multitrófica Integrada promovem condições oligotróficas, com maior abundância de bactérias K -estrategistas (ex.: *Planctomycetes*, *Acidobacteria*), indicativas de ambientes mais estáveis e eficiência no uso de recursos. Além disso, observou-se maior diversidade microbiana e redução significativa de patógenos como o gênero *Vibrio* nos sistemas integrados. A análise dos estudos revelou que a composição e a densidade das espécies cultivadas são determinantes para o perfil trófico do sistema, uma vez que organismos com funções complementares (ex.: filtradores, consumidores de detritos) facilitam a ciclagem de nutrientes e reduzem o acúmulo de matéria orgânica. Conclui-se que a Aquicultura Multitrófica Integrada não apenas melhora a diversidade e o equilíbrio das comunidades bacterianas, mas também confere maior resiliência ecológica ao sistema, corroborando a hipótese central deste estudo. Esses resultados reforçam a importância do planejamento adequado de arranjos multitróficos para uma aquicultura mais sustentável e menos impactante.

Abstract

The global expansion of aquaculture has raised concerns about the environmental impacts generated by traditional monoculture systems, characterized by high discharges of organic matter and nutrient-rich effluents. These systems often lead to eutrophication, proliferation of opportunistic and pathogenic bacteria, and microbial imbalances, requiring costly technological interventions to maintain water quality. As an alternative, Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) emerges as a sustainable approach, based on the simultaneous cultivation of organisms from different trophic levels, which act synergistically in nutrient recycling and environmental impact mitigation. This study aimed to conduct a comparative literature review between monoculture and Integrated Multi-Trophic Aquaculture systems, focusing on the structure of associated bacterial communities, analyzed from the perspective of the r/K ecological theory. For this purpose, four scientific articles published between 2022 and 2024 were selected and evaluated, obtained from databases such as Web of Science, ScienceDirect, and Google Scholar, using descriptors related to aquaculture, microbial communities, and bacterial trophic strategies. The results demonstrate that

monoculture systems tend to favor copiotrophic environments, with a predominance of r-strategist bacteria (e.g., Flavobacteriales, Bacteroidales), adapted to conditions of high nutrient availability and associated with ecological instability and disease outbreaks. In contrast, Integrated Multi-Trophic Aquaculture systems promoted oligotrophic conditions, with a greater abundance of K-strategist bacteria (e.g., Planctomycetes, Acidobacteria), indicative of more stable environments and efficient resource use. Additionally, greater microbial diversity was observed (e.g., alpha diversity of 13.8 in Integrated Multi-Trophic Aquaculture vs. 2.4 in monoculture in oysters) and a significant reduction in pathogens such as *Vibrio* spp. in integrated systems. The analysis of the studies revealed that the composition and density of cultivated species are determining factors for the trophic profile of the system, as organisms with complementary functions (e.g., filter feeders, detritus consumers) facilitate nutrient cycling and reduce the accumulation of organic matter. It is concluded that Integrated Multi-Trophic Aquaculture not only improves the diversity and balance of bacterial communities but also confers greater ecological resilience to the system, corroborating the central hypothesis of this study. These results reinforce the importance of proper planning of multi-trophic arrangements for more sustainable and less impactful aquaculture.

Sumário

1. Introdução.....	7
2. Material e métodos.....	9
3. Resultados e Discussão.....	10
4. Conclusão.....	19
5. Referências:.....	19

1. Introdução

Nas últimas décadas, a produção de peixes tem aumentado em escala global (Liu *et al.*, 2017). Segundo relatório da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), esse crescimento está diretamente relacionado ao aumento populacional e à consequente elevação da demanda por alimentos, o que indica que a procura por pescado continuará crescendo nos próximos anos (FAO, 2018). Como as pescarias naturais enfrentam o risco crescente de sobrepesca, a aquicultura surge como alternativa fundamental, sendo atualmente um dos setores de produção de alimentos que mais cresce em todo o mundo (FAO, 2018).

As espécies cultivadas frequentemente têm alto valor comercial e requerem grandes quantidades de ração formulada à base de farinha e óleo de peixe (FAO, 2020), que têm impactos ambientais negativos significativos (Tacon *et al.*, 2010; Cashion *et al.*, 2017; Medeiros, Aubin & Camargo, 2017). Esses impactos negativos são ainda reforçados pelas grandes quantidades de efluentes sólidos (fezes, restos de ração) e nutrientes dissolvidos (resíduos) liberados pelas monoculturas, que contribuem para a eutrofização de ecossistemas aquáticos selvagens.

Nesse cenário, desenvolveram-se sistemas de produção intensiva baseados no cultivo de poucas espécies de alto rendimento, estruturados em modelos de monocultura ambientalmente pouco sustentáveis e fortemente dependentes de insumos agroquímicos (Robertson & Swinton, 2005). O monocultivo geralmente gera impactos ambientais significativos, sobretudo pela descarga de efluentes ricos em matéria orgânica e nutrientes, que comprometem a qualidade da água, favorecem bactérias oportunistas r-estrategistas (copiotróficas) e florações de algas nocivas (Zhang *et al.*, 2019; Dantas *et al.*, 2020; Piedrahita, 2003; Smetacek & Zingone, 2013). A baixa eficiência ou ausência de filtragem biológica nesses arranjos intensifica o acúmulo de nitrogênio e fósforo, aumentando o risco de eutrofização e de surtos patogênicos. Como consequência, torna-se necessária a adoção de tecnologias artificiais de tratamento de água (e.g. filtros mecânicos, decantadores, esterilizadores UV) , geralmente de alto custo, o que limita a adoção desse modelo por pequenos e médios produtores (Mineur *et al.*, 2015).

Como resposta a esses desafios, têm sido propostas soluções mais sustentáveis, entre elas a Aquicultura Multitrófica Integrada (IMTA, do inglês Integrated Multi-Trophic Aquaculture). Este sistema consiste no cultivo simultâneo de diferentes organismos aquícolas que ocupam distintos níveis tróficos e desempenham papéis complementares no ecossistema (Chopin, 2012). Segundo o mesmo autor, sua principal vantagem é o reaproveitamento dos

subprodutos de uma espécie que se tornam fonte de alimento, energia ou fertilizante para as demais, promovendo uma interação sinérgica entre os cultivos. Comparado ao sistema tradicional, o IMTA é mais eficaz e obtém um nível maior de utilização de carbono, nitrogênio e fósforo (Zhang, *et al.* 2022).

Estudos recentes sobre IMTA têm se concentrado principalmente na dinâmica de nutrientes dissolvidos e do material particulado, bem como no desempenho e crescimento das espécies envolvidas (Abreu *et al.*, 2011; Kalantzi *et al.*, 2013; Yokoyama e Ishihi, 2010). No entanto, para compreender plenamente os impactos ecológicos desses sistemas, é relevante considerar também os aspectos microbiológicos e ecológicos que regem a estrutura das comunidades bacterianas associadas. Nesse sentido, o modelo ecológico *r/K* pode ser utilizado como ferramenta teórica para entender como diferentes práticas de cultivo influenciam a composição microbiana e a estabilidade dos sistemas.

De acordo com esse modelo (MacArthur e Wilson, 2001), espécies *r*-estrategistas, como muitas bactérias copiotróficas, prosperam em ambientes instáveis, com alta disponibilidade de nutrientes, características comuns em sistemas de monocultivo. Essas espécies são geralmente oportunistas e de crescimento rápido, sendo muitas vezes associadas a patógenos (Andrews, 1984). Por outro lado, as *K*-estrategistas (oligotróficas) dominam em ambientes mais estáveis, com baixa disponibilidade de recursos e competição mais acirrada, demonstrando maior eficiência no uso dos nutrientes disponíveis (Vadstein *et al.*, 2018). Essa distinção permite inferir como práticas de cultivo distintas podem favorecer diferentes grupos bacterianos, influenciando a resiliência e a estabilidade ecológica do sistema.

Apesar do avanço nos estudos sobre aquicultura multitrófica, a maioria das pesquisas ainda se concentra nos aspectos produtivos dos organismos cultivados, negligenciando a caracterização da microbiota associada aos diferentes sistemas de cultivo. Compreender como essas práticas afetam a estrutura e a diversidade das comunidades bacterianas é essencial para prevenir surtos de doenças e perdas de produtividade, além de fornecer subsídios para o manejo ecológico mais eficiente. Diante disso, o presente estudo propõe uma revisão bibliográfica comparativa entre sistemas de monocultivo e sistemas multitróficos integrados, à luz das teorias ecológicas de estratégias *r* e *K*.

Considera-se como hipótese que os sistemas de Aquicultura Multitrófica Integrada tendem a apresentar características oligotróficas e maior estabilidade ecológica, favorecendo a predominância de bactérias *K*-estrategistas. Em contrapartida, sistemas de monocultivo seriam mais propensos a condições copiotróficas, com maior abundância de bactérias *r*-estrategistas, incluindo espécies oportunistas e potencialmente patogênicas.

2. Material e métodos

Este trabalho consiste em uma revisão bibliográfica com foco em estudos que investigam a composição bacteriana, a ciclagem de nutrientes e as características ecológicas associadas a sistemas de aquicultura multitróficos integrados (IMTA) e sistemas de monocultivo. A revisão teve como objetivo identificar padrões relacionados às estratégias ecológicas *r* e *K* nas comunidades bacterianas presentes nesses sistemas, bem como avaliar os impactos da estrutura de cultivo na qualidade da água e na sustentabilidade ambiental.

A busca por artigos científicos foi realizada entre março e julho de 2025 nas seguintes bases de dados: Google Scholar, Web of Science, ScienceDirect e a revista especializada *Reviews in Aquaculture* (Wiley Online Library). Foram utilizados os seguintes descritores e combinações de palavras-chave em português e inglês: "aquaculture", "integrated multi-trophic aquaculture", "IMTA", "monoculture", "microbial community", "copiotrophic bacteria", "oligotrophic bacteria", "r/K strategies" e "bacterial diversity in aquaculture".

Os critérios de inclusão para seleção dos artigos foram:

- Publicações entre 2010 e 2025;
- Estudos com enfoque em comunidades microbianas e sua caracterização em sistemas de aquicultura terrestre;
- Trabalhos que abordem comparações entre diferentes sistemas de cultivo (MTA e monocultura) com análises ecológicas da microbiota.

Foram excluídos da revisão estudos que abordavam apenas aspectos zootécnicos sem considerar parâmetros ambientais ou microbiológicos, e experimentos realizados em oceano aberto. Por fim, foram selecionados um total de 4 artigos para os resultados e discussão:

- Effects of integrated multi-trophic aquaculture on microbial communities, antibiotic resistance genes, and cultured species: A case study of four mariculture systems (Zhang, *et al.* 2022).
- Bacterial microbiome dynamics in commercial integrated aquaculture systems growing *Ulva* in abalone effluent water (de Jager, Kristin, *et al.* 2024).
- Microbiome changes of an integrated aquaculture system of shrimp *Litopenaeus vannamei* and seaweed *Ulva lactuca* with different water exchanges (Peña-Rodríguez, Alberto, *et al.* 2024).
- Exploring the optimal integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) patterns benefiting culture animals and natural water environment (Tang, Yongtao, *et al.* 2024).

Após a triagem inicial dos títulos e resumos, os artigos selecionados foram lidos na íntegra. As informações extraídas incluíram: tipo de sistema de cultivo estudado (IMTA, monocultivo ou outro), metodologia de análise microbiana, principais grupos bacterianos identificados, parâmetros ambientais avaliados (como nitrogênio, fósforo, oxigênio dissolvido), composição das espécies presentes no sistema e interpretações ecológicas (incluindo menções a estratégias r/K).

Os dados foram organizados de forma qualitativa e discutidos sob a ótica das teorias ecológicas, com o intuito de identificar tendências que sustentem a hipótese central do trabalho de que os sistemas IMTA favorecem comunidades bacterianas mais estáveis e oligotróficas (K-estrategistas), enquanto os sistemas de monocultivo favorecem condições eutróficas e a dominância de bactérias copiotróficas e oportunistas (r-estrategistas).

Para interpretar os resultados, classificamos o comportamento esperado das bactérias com base na frequência com que essas foram citadas na literatura como associadas à copiotrofia (r-estrategistas) ou oligotrofia (K-estrategistas) (Tabela 1) a partir do trabalho de conclusão de curso de Valente (2024).

Tabela 1. Classificação das estratégias de história de vida microbiana das principais linhagens microbianas. A tabela apresenta a classificação taxonômica dos grupos microbianos encontrados no estudo em relação ao seu modo de vida (copiotrófico e oligotrófico) de acordo com a literatura e baseado na tabela de (Stone, et al, 2023). As abreviações das classificações taxonômicas correspondem respectivamente a: (F) Filo, (C) Classe, (O) Ordem; (G) Gênero. Fonte: Valente (2024).

Classificação Taxonômica	Núm. vezes citado como copiotrófico (r-estrategista)	Núm. vezes citado como oligotrófico (K-estrategista)	Nú. vezes citado como r ou K estrategistas	Modo de vida esperado	Referências
Verrucomicrobia (F)	0	5	1	Oligotrófico	(HO, et al., 2017); (Stone, et al., 2023)
Bacteroidetes (F)	9	2	0	Copiotrófico	(Fier, et al., 2007); (Dang, et al., 2024); (Philippot et al. 2010); (Stone, et al., 2023)
Chloroflexi (F)	0	3	0	Oligotrófico	(Dang, et al., 2024); (Liang, et al., 2024); (Stone, et al., 2023)
Actinobacteria (F)	4	2	0	Copiotrófico	(Liang, et al., 2024); (HO, et al., 2017); (Stone, et al., 2023)
Proteobacteria (F)	1	0	0	Copiotrófico	(Liang, et al., 2024)
Planctomycetes (F)	0	6	0	Oligotrófico	(Dang, et al., 2024); (Stone, et al., 2023)
Alphaproteobacteria (C)	5	6	0	Oligotrófico	(Dang, et al., 2024); (Liang, et al., 2024); (Stone, et al., 2023)
Deltaproteobacteria (C)	0	2	0	Oligotrófico	(Dang, et al., 2024); (Stone, et al., 2023)
Gammaproteobacteria (C)	6	3	0	Copiotrófico	(Liang, et al., 2024); (Brunet, et al., 2021); (Stone, et al., 2023)
Flavobacterium (G)	1	0	0	Copiotrófico	(Lauro et al. 2009)
Planctomyces (G)	0	6	0	Oligotrófico	(Dang, et al., 2024); (Stone, et al., 2023)

Resultados e Discussão

No estudo de Zhang et al. (2022), foi realizado um experimento para avaliar os diferentes tipos de cultivo: (1) monocultura de peixes (C, estilo tradicional, 100

garoupas/lago); (2) IMTA de peixe-camarão (FS, 100 garoupas/lago, 1000 camarões/lago); (3) IMTA de peixe-algas (FA, 100 garoupas/lago, 1500 g de algas/lago); (4) IMTA de peixe, camarão e algas (FSA, 100 garoupas/lago, 1000 camarões/lago, 1500 g de algas/lago). Após análises dos dados da Figura 1, baseado na análise LefSe do artigo, foi elaborada uma tabela (Tabela 2) com as bactérias presentes em cada cultivo e o total de bactérias copiotróficas e oligotróficas presentes. A classificação foi feita de acordo com o trabalho de conclusão de curso (Valente et. al 2024).

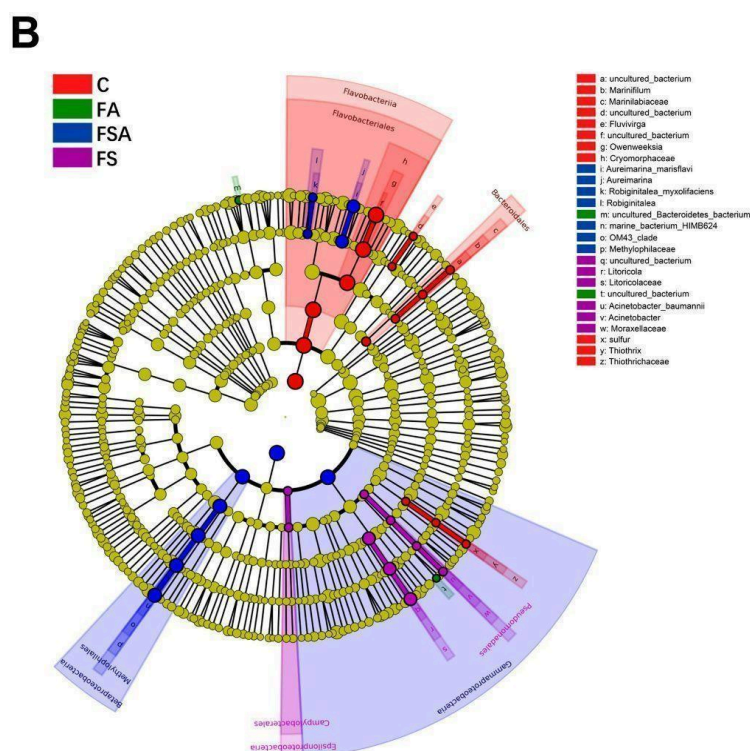


Figura 1. (B) O cladograma LEfSe representando a distribuição de táxons estatisticamente significativos (biomarcadores) do nível de filo para espécie entre diferentes sistemas de aquicultura. Cada círculo está relacionado à abundância relativa dos táxons fornecidos. Os biomarcadores de cada sistema são simbolizados em cores (amarelo indica não significativo, vermelho indica C, verde indica FA, azul indica FS e roxo indica FSA). Os círculos simbolizam os níveis taxonômicos do filo interno para a espécie externa. (Para interpretação das referências à cor na legenda desta figura, o leitor deve consultar a versão web deste artigo.). Fonte: Zhang et al. (2022).

Tabela 2. Classificação das estratégias de história de vida microbiana das principais linhagens microbianas do item B da Figura 1 do artigo Zhang *et al.* (2022). A tabela apresenta a classificação taxonômica dos grupos microbianos encontrados no estudo em relação ao seu modo de vida (copiotrófico e oligotrófico) de acordo com a literatura e baseado na tabela de (Valente 2024).

Zhang, et al. 2022	Monocultura (peixe)	Bacteroidetes	flavobacteria	flavobacteriales	cryomorphaceae	15 bacterias copiotróficas
					owenweeksia	
					uncultured	
		Bacteroidales	marinilabiaceae	uncultured		
				marinifilum		
			fluvivirga			
	Gammaproteobacteria	Thiotrichaceae	Thiothrix	sulfur		
	Peixe, camarão e alga	Bacteroidetes	flavobacteria	flavobacteriales	Robiginitalea (marisfavi)	5 copiotróficas
					aureimarina (myxolifaciens)	
		Betaproteobacteria	methylophilales	M43_clade	marine_bacterium_HIM B624	5 oligotróficas
	Peixe e camarão	Bacteroidetes	flavobacteria	flavobacteriales	Robiginitalea (marisfavi)	11 copiotróficas
					aureimarina (myxolifaciens)	
		Gammaproteobacteria	Pseudomonales	moraxellaceae	acinetobacter (baumannii)	
			Litoricolaceae	Litoricola	uncultured	
		Proteobacteria	epsilonproteobacteria	campyloactereles		----
peixe e alga	Bacteroidetes	uncultured bacteroidetes			2 copiotróficas	
	Gammaproteobacteria	uncultured bacterium				

Ao analisar a Tabela 2, observa-se que o sistema de monocultura de camarão apresenta alta predominância de bactérias copiotróficas. O sistema C (monocultura) revelou predominância de grupos como Flavobacteriales, Bacteroidales, Cytophagales e Thiotrichales (todas r-estrategistas). Essas bactérias possuem elevada capacidade de decompor matéria orgânica tanto na coluna d'água quanto no sedimento, o que pode resultar no acúmulo excessivo de nutrientes e no potencial comprometimento da saúde dos organismos cultivados (Huang et al., 2018). Portanto, a alta disponibilidade de nutrientes provenientes da alimentação, associada à ausência de outros organismos capazes de filtrar ou consumir esse excesso, favorece a proliferação de bactérias r-estrategistas. As copiotróficas são conhecidas por sua natureza oportunista e, frequentemente, patogênica, apresentando alta taxa de reprodução e colonização em ambientes ricos em recursos (Andrews, 1984).

A tendência de alta disponibilidade de nutrientes também foi observada no cultivo combinado de peixe e camarão, onde ocorreu maior acúmulo de resíduos orgânicos. Embora o cultivo integrado reúna duas espécies potencialmente capazes de aproveitar a matéria orgânica da ração, essa associação não resultou em controle efetivo dos nutrientes dissolvidos, possivelmente porque ambas são consumidoras de carbono e não desempenham funções de filtragem ou assimilação de nutrientes excedentes, como ocorre em sistemas multitróficos com organismos autotróficos ou filtradores. Como consequência, a atividade microbiana se intensifica, favorecendo bactérias copiotróficas (r-estrategistas) em ambientes ricos em nutrientes, enquanto condições de menor disponibilidade favorecem a dominância de bactérias oligotróficas, mais especializadas na utilização de recursos limitados (Vadstein et al., 2018).

A introdução da alga *G. bailinae*, por sua vez, reduziu significativamente as concentrações de nutrientes inorgânicos no sistema, criando um ambiente menos favorável às copiotróficas e favorecendo oligotróficas. Situação semelhante ocorreu no cultivo com peixe e alga, já que as macroalgas auxiliam na remoção e ciclagem de nutrientes (Neori et al., 2004), o que se refletiu em perfis bacterianos distintos em comparação ao cultivo de peixe e camarão. Essas diferenças foram confirmadas pelas análises LEfSe e LDA, que mostraram que a composição das comunidades bacterianas varia conforme as espécies cultivadas, uma vez que cada organismo exerce funções ecológicas específicas no balanço de entrada, transformação e remoção de nutrientes. Assim, enquanto filtradores, herbívoros e detritívoros contribuem para maior eficiência na ciclagem, organismos como peixes e camarões tendem a liberar maiores quantidades de nutrientes por excreções e restos de ração, moldando diretamente a estrutura microbiana do sistema (Jansen *et al.* 2019 ;Vanni *et al.* 2006).

Assim, a seleção dos organismos cultivados determina o perfil trófico do sistema e consequentemente, molda a estrutura e a diversidade da comunidade bacteriana presente. Dessa forma, o cultivo pode desenvolver um perfil mais oligotrófico ou copiotrófico, dependendo dos organismos selecionados e da dinâmica de entrada e remoção de nutrientes. Em outras palavras, o equilíbrio e o bem-estar de um sistema multitrófico integrado estão diretamente correlacionados com as espécies presentes, as quais influenciam a estrutura da comunidade bacteriana por meio de fatores bióticos e abióticos da água.

Resultados semelhantes também foram observados no artigo de Peña-Rodríguez *et al.* (2024). Ao analisarmos a figura 2 e compararmos os tratamentos PN (ração peletizada, sem troca de água) e UPN (ração peletizada + *Ulva lactuca*, sem troca de água), nota-se que as classes Planctomycetes e Deltaproteobacteria, ambas classificadas como oligotróficas,

aumentaram com a adição da alga ao sistema (Figura 2). Por outro lado, Betaproteobacteria e Bacteroidetes (copiotróficas) apresentaram redução em sua abundância relativa. Além disso, a presença da alga nos tratamentos também foi associada a uma menor abundância da família Vibrionaceae, sugerindo que o cultivo multitrófico integrado pode reduzir os riscos sanitários e as perdas do cultivo causadas por surtos de doenças relacionadas a essa família bacteriana. O artigo ainda relata uma maior abundância de *Tenacibaculum* na presença do co-cultivo, o que pode trazer efeitos benéficos aos organismos cultivados (Zheng *et al.*, 2017). Esses resultados evidenciam ainda mais as diferenças ecológicas na composição bacteriana entre os diferentes tipos de cultivo, especialmente quando comparados aos sistemas de monocultura.

Nos sistemas de Aquicultura Multitrófica Integrada (IMTA), a estrutura do microbioma é moldada pela interação entre espécies de diferentes níveis tróficos, promovendo não apenas maior diversidade bacteriana, mas também funções ecológicas específicas. Omont *et al.* (2020) demonstraram que o co-cultivo de camarões (*Penaeus vannamei*) e ostras (*Crassostrea gigas*) aumentou significativamente a riqueza microbiana no trato digestivo das ostras (diversidade alfa de 13.8 vs. 2.4 em monocultura). Esse aumento está alinhado à teoria r/K, pois a presença de ostras como organismos filtradores reduz a disponibilidade de nutrientes livres no sistema, criando um ambiente mais estável e favorecendo bactérias K-estrategistas (oligotróficas), em contraposição aos monocultivos, onde a abundância de nutrientes seleciona comunidades r-estrategistas (copiotróficas).

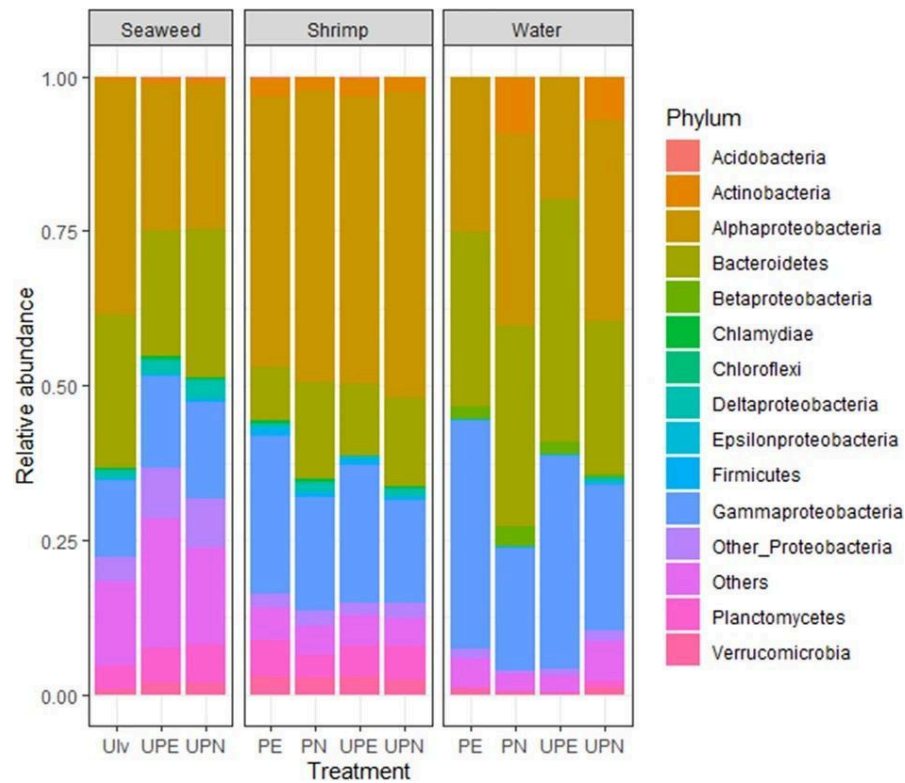


Figura 2: Abundância relativa do filo principal (Proteobacteria dividida em nível taxonômico de classe) em algas marinhas, camarões e tratamentos de água (Ulv, PE, PN, UPE e UPN) durante 4 semanas de ensaio experimental. Fonte: Peña-Rodríguez et al. 2024.

Tabela 3. Comparação entre os grupos bacterianos presentes nos diferentes sistemas do estudo de Peña-Rodríguez et al. 2024.

Comparação entre sistemas	Diferença observada	Grupos bacterianos que aumentam	Grupos bacterianos que diminuem	Tendência trófica
UPE vs PE (ambos com troca de água)	Pouca diferença significativa	—	—	Sem alteração marcante
UPN vs PN (sem troca de água)	Alteração significativa na comunidade	Planctomycetes Deltaproteobacteria	Betaproteobacteria Bacteroidetes	Tendência oligotrófica (UPN)

No estudo de De Jager *et al.* (2024), foi comparado dois sistemas de cultivo de *Ulva lacinulata* na Fazenda Cape Abalone. O primeiro tratamento corresponde ao sistema não-IMTA, composto por tanques semicirculares revestidos de PVC, que recebem água do mar bombeada diretamente da zona de arrebentação. Essa água é filtrada e circula passivamente pelos tanques, que são continuamente aerados e fertilizados duas vezes por semana com fosfato de amônio para estimular o crescimento das algas. Esses tanques funcionam como unidades de semeadura para abastecer canais maiores de *Ulva*. O segundo tratamento corresponde ao sistema IMTA, constituído por canais de grande porte que

recebem, por gravidade, água efluente proveniente dos tanques de abalone. Essa água, enriquecida em nutrientes, percorre canais paralelos independentes, nos quais rodas de pás promovem a circulação, a agitação da biomassa e a oxigenação da água. Embora o efluente seja rico em nutrientes, a fertilização suplementar com nitrogênio e fósforo ainda é realizada a cada duas semanas, para reduzir o estresse nutricional.

Assim como observado no estudo anterior, as diferenças entre os tratamentos não se refletiram na presença ou ausência das comunidades bacterianas registradas, mas sim em suas abundâncias relativas. Em ambos os sistemas, as comunidades microbianas apresentaram composição semelhante, com predomínio de classes consideradas copiotróficas. No entanto, ao analisar a abundância de gêneros específicos — como *Pseudoalteromonas*, *Vibrio*, *Shewanella*, *Psychromonas* e *Tenacibaculum* — os autores verificaram valores ligeiramente mais elevados, na maioria dos casos, nas amostras provenientes do sistema não-IMTA. Dessa forma, embora os dois tratamentos compartilhem um perfil bacteriano geral semelhante, o cultivo de *Ulva* em sistema IMTA apresentou menor abundância relativa de bactérias copiotróficas. Isso sugere que o ambiente resultante do uso do efluente de abalone pode favorecer maior equilíbrio ecológico, reduzindo a dominância de grupos potencialmente oportunistas.

No artigo de Yongtao *et al.* (2024), o experimento foi realizado em tanques de 32 m², com quatro repetições por tratamento, totalizando seis diferentes arranjos experimentais com distintas combinações de espécies aquáticas. O tratamento G contou exclusivamente com 832 camarões (*Macrobrachium rosenbergii*). No tratamento GSB, foram cultivados 832 camarões, além de 6 carpas cabeçudas (*Hypophthalmichthys nobilis*) e 14 carpas prateadas (*Hypophthalmichthys molitrix*). O tratamento GSBH1 incluiu 832 camarões, 6 carpas cabeçudas, 14 carpas prateadas e 150 moluscos bivalves da espécie *Hyriopsis cumingii*. Já o tratamento GSBH2 foi composto por 832 camarões, 6 carpas cabeçudas, 14 carpas prateadas e 300 *H. cumingii*. No tratamento GSBH3, foram utilizados 832 camarões, 6 carpas cabeçudas, 14 carpas prateadas e 450 *H. cumingii*. Por fim, o tratamento GH2 consistiu na criação de 832 camarões e 300 *H. cumingii*, sem a presença de peixes.

Nesse trabalho, os autores exploraram a influência da composição e densidade das espécies presentes nos sistemas de cultivo, que afetam diretamente a entrada e a ciclagem de nutrientes e, conseqüentemente, determinam quais grupos bacterianos se proliferarão. Esses fatores bióticos (como a presença de peixes ou mexilhões) e abióticos (como os níveis de nitrogênio e fósforo) moldam a dominância de bactérias copiotróficas ou oligotróficas. Por exemplo, os autores relataram florações de cianobactérias nos grupos G (monocultura) e GH2

(camarão e mexilhão), associadas às maiores concentrações de nitrogênio e fósforo encontradas nas amostras de sedimento desses sistemas (Figura 4). Provavelmente relacionado à bioturbação causada pelo camarão, que aumenta a liberação de nutrientes no sedimento (Nicholaus et al., 2019). Por outro lado, a introdução de carpas (prateada e cabeçuda), tanto da nos demais cultivos (GSB, GSBH1–3) evitou maiores concentrações de nitrogênio e fósforo, uma vez que esses organismos auxiliam na fixação e na ciclagem mais eficiente dos nutrientes, visto que, a porcentagem total de nutrientes nesses tratamentos diminuiriam quando comparado aos outros.

Tabela 4. Concentração total de nitrogênio e fósforo nos sedimentos de todos os tratamentos do estudo de Yongtao *et al.* (2024). Os valores em negrito são os valores mais altos e baixos entre os sistemas.

Tratamento	TN Sedimento (g/m ²) (%)	TP Sedimento (g/m ²) (%)	Total
G	62.60	61.88	124,48
GSB	46.58	53.27	99,85
GSBH1	49.43	56.29	105,72
GSBH2	47.13	52.39	99,52
GSBH3	44.84	50.29	95,13
GH2	51.29	62.93	114,22

Ao analisarmos os resultados da figura 2 do artigo (figura 5), observamos que a composição de bactérias copiotróficas e oligotróficas variou entre os diferentes sistemas. No grupo G (monocultura), as classes Acidobacteria e Chloroflexi (ambas oligotróficas) apresentaram proporções reduzidas, indicando um ambiente menos favorável a microrganismos adaptados à baixa disponibilidade de nutrientes. Curiosamente, a classe Bacteroidetes (copiotrófica) também teve baixa abundância nesse grupo, mesmo sendo o tratamento que possui maior porcentagem de nutrientes no sedimento, entretanto foi observado florações durante o tempo do experimento. No grupo GH2 (camarão e mexilhão), apesar da ocorrência de florações, observou-se maior abundância das classes Acidobacteria e Chloroflexi, mesmo sendo o segundo tratamento com maior concentrações de nutrientes. Por outro lado, Bacteroidetes foi menos abundante nos grupos G e GSBH2, mas dominou nos cultivos GSBH3 e GH2, sugerindo que a composição e densidade de cada espécie no tratamento tende a interferir na abundância das bactérias de cada tratamento. Em contraste, o sistema GSB (camarão e peixes) apresentou maior abundância de Acidobacteria (oligotrófica), enquanto Chloroflexi (oligotrófica), teve proporções mais elevadas no grupo

GSBH3.

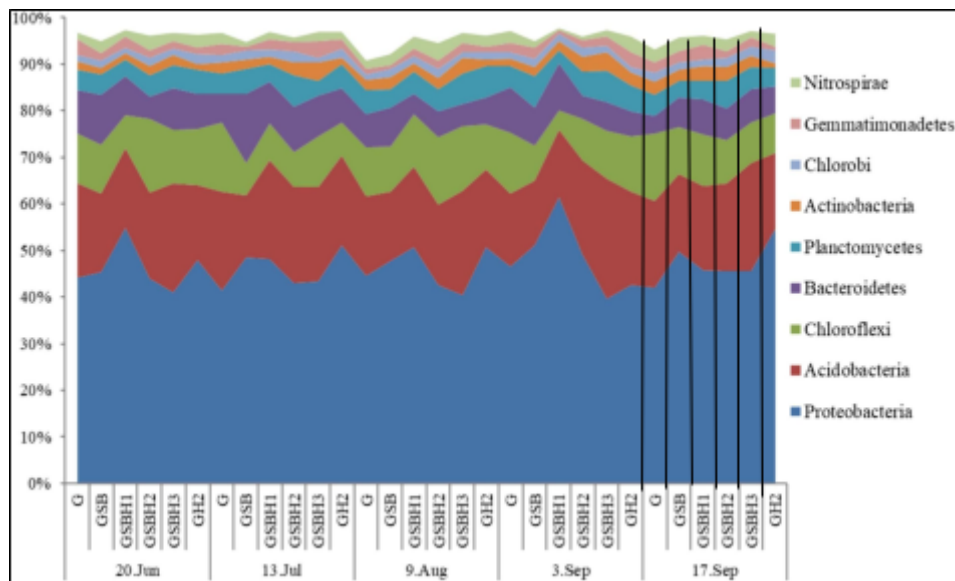


Figura 5. Filos microbianos de seis grupos experimentais em cinco tempos de amostragem. Figura adaptada do artigo Yongtao et al. (2024).

Portanto, neste artigo, foram observadas diferenças na abundância relativa de determinados grupos bacterianos entre os tratamentos, associadas a variações nas concentrações de nutrientes no sedimento e à ocorrência de florações de cianobactérias. A presença de carpas coincidiu com menores concentrações de nitrogênio e fósforo, enquanto sistemas sem esses peixes apresentaram valores mais elevados, o que sugere que esses organismos desempenham papel central na regulação da disponibilidade de nutrientes e, conseqüentemente, da comunidade microbiana. No entanto, os resultados não corroboram a hipótese de que determinados arranjos tenderiam a favorecer comunidades r ou K-estrategistas, já que o padrão observado foi inconsistente entre os tratamentos. Essa ausência de correspondência pode estar relacionada a fatores como a bioturbação promovida pelos camarões, a intensidade de excreção dos peixes, a densidade de bivalves e até mesmo o tempo de residência da água, variáveis que também interferem na ciclagem de nutrientes e na estrutura bacteriana.

Como demonstrado nos artigos citados, as principais diferenças entre os sistemas de monocultura e sistemas multitróficos integrados se manifestam através de: (1) maior diversidade microbiana em sistemas MTA; (2) redução significativa de bactérias copiotróficas potencialmente patogênicas (ex: *Vibrio* spp.) em sistemas IMTA; e (3) eficiência superior na ciclagem de nutrientes em sistemas MTA. Uma das principais vantagens desses sistemas é a

melhor utilização e ciclagem dos nutrientes, onde os resíduos metabólicos de uma espécie são aproveitados como recursos por outras, criando um fluxo mais eficiente de matéria e energia no ecossistema cultivado. A presença de organismos com funções complementares (como peixes, camarões, algas e mexilhões) permite que os nutrientes sejam continuamente reciclados, reduzindo o acúmulo de compostos orgânicos e inorgânicos que poderiam levar à eutrofização ou proliferação de microrganismos indesejáveis.

Apesar dos padrões observados, este estudo apresenta limitações inerentes a revisões bibliográficas, como a dependência de dados obtidos em contextos experimentais distintos, com variações na metodologia de análise microbiológica, duração dos ensaios e condições ambientais. Tais diferenças dificultam comparações diretas entre trabalhos e podem influenciar a interpretação dos resultados. Assim, recomenda-se que futuras pesquisas utilizem protocolos padronizados e investiguem, de forma controlada, a relação entre composição de espécies, ciclagem de nutrientes e estrutura microbiana, permitindo conclusões mais robustas.

Conclusão

Com base na revisão realizada, foi possível identificar padrões consistentes que relacionam o tipo de sistema de cultivo às estratégias ecológicas r e K nas comunidades bacterianas associadas. De forma geral, os sistemas de monocultivo tendem a apresentar maior abundância de bactérias copiotróficas (r-estrategistas), associadas a ambientes com alta disponibilidade de nutrientes, maior instabilidade microbiológica e potencial incremento de patógenos. Em contraste, os sistemas de aquicultura multitrófica integrada tendem a favorecer a ocorrência de bactérias oligotróficas (K-estrategistas), indicativas de ambientes mais estáveis e com melhor equilíbrio na ciclagem de nutrientes. Esses resultados corroboram a hipótese inicial de que o IMTA promove maior estabilidade ecológica e eficiência no aproveitamento de recursos, reforçando a importância de considerar a composição das espécies cultivadas como fator determinante na estrutura microbiana e na resiliência do sistema.

Referências:

ABREU, M. H. et al. IMTA with *Gracilaria vermiculophylla*: productivity and nutrient removal performance of the seaweed in a land-based pilot scale system. *Aquaculture*, v. 312, p. 77–87, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.12.036>

ANDREWS, J. H. Relevance of r and k theory to the ecology of plant pathogens. In: KLUG, M. J.; REDDY, C. A. (ed.). *Current perspectives in microbial ecology*. Washington: American Society for Microbiology, 1984. p. 1–7.

CHOPIN, T. et al. Open-water integrated multi-trophic aquaculture: environmental biomitigation and economic diversification of fed aquaculture by extractive aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, v. 4, p. 209–220, 2012. DOI: 10.1111/j.1753-5131.2012.01074.x.

DANTAS, D. P. et al. Technical feasibility of integrating Amazon river prawn culture during the first phase of tambaqui grow-out in stagnant ponds, using nutrient-rich water. *Aquaculture*, v. 516, p. 734611, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734611>

DE JAGER, K. et al. Bacterial microbiome dynamics in commercial integrated aquaculture systems growing *Ulva* in abalone effluent water. *Journal of Applied Phycology*, v. 36, p. 2823–2849, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-024-03298-8>

FAO. *The State of Fisheries and Aquaculture in the World*. Rome: FAO, 2018.

KALANTZI, I. et al. Heavy metals, trace elements and sediment geochemistry at four Mediterranean fish farms. *Science of the Total Environment*, v. 444, p. 128–137, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.11.082>

LIU, X.; STEELE, J. C.; MENG, X.-Z. Usage, residue, and human health risk of antibiotics in Chinese aquaculture: a review. *Environmental Pollution*, v. 223, p. 161–169, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.003>

MACARTHUR, R. H.; WILSON, E. O. *The theory of island biogeography*. Princeton: Princeton University Press, 2001.

MINEUR, F. et al. European seaweeds under pressure: consequences for communities and ecosystem functioning. *Journal of Sea Research*, v. 98, p. 91–108, 2015. DOI: 10.1016/j.seares.2014.11.004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seares.2014.11.004>

NEORI, A. et al. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. *Aquaculture*, v. 231, p. 361–391, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.11.015>

NICHOLAUS, R. et al. Bioturbation of blood clam *Tegillarca granosa* on benthic nutrient fluxes and microbial community in an aquaculture wastewater treatment system. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 142, p. 73–82, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.05.004>

OMONT, A. et al. Digestive microbiota of shrimp *Penaeus vannamei* and oyster *Crassostrea gigas* co-cultured in integrated multi-trophic aquaculture system. *Aquaculture*, v. 521, p. 735059, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735059>

PEÑA-RODRÍGUEZ, A. et al. Microbiome changes of an integrated aquaculture system of shrimp *Litopenaeus vannamei* and seaweed *Ulva lactuca* with different water exchanges. *Aquaculture International*, v. 32, p. 1955–1973, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10499-023-01253-x>

PIEDRAHITA, R. H. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*, v. 226, p. 35–44, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00465-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00465-4)

ROBERTSON, G. P.; SWINTON, S. M. Reconciling agricultural productivity and environmental integrity: a great challenge for agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 3, p. 38–46, 2005. DOI: [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2005\)003\[0038:RAPAEI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2005)003[0038:RAPAEI]2.0.CO;2)

SMETACEK, V.; ZINGONE, A. Green and golden seaweed tides on the rise. *Nature*, v. 504, p. 84–88, 2013. DOI: [10.1038/nature12860](https://doi.org/10.1038/nature12860). <https://doi.org/10.1038/nature12860>

STONE, B. W. et al. Life history strategies among soil bacteria—dichotomy for few, continuum for many. *The ISME Journal*, v. 17, p. 611–619, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41396-022-01354-0>

TANG, Y. et al. Exploring the optimal integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) patterns benefiting culture animals and natural water environment. *Aquaculture*, v. 589, p. 741011, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741011>

VADSTEIN, O. et al. K-selection as microbial community management strategy: a method for improved viability of larvae in aquaculture. *Frontiers in Microbiology*, v. 9, p. 2730, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02730>

VANNI, M. J. et al. Nutrient cycling by fish supports relatively more primary production as lake productivity increases. *Ecology*, v. 87, p. 1696–1709, 2006. DOI: [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2006\)87\[1696:NCBFSR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2006)87[1696:NCBFSR]2.0.CO;2)

YOKOYAMA, H.; ISHIHI, Y. Bioindicator and biofilter function of *Ulva* spp. (Chlorophyta) for dissolved inorganic nitrogen discharged from a coastal fish farm—potential role in integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture*, v. 310, p. 74–83, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.10.018>

ZHANG, J. et al. Environmental effects of mariculture in China: an overall study of nitrogen and phosphorus loads. *Acta Oceanologica Sinica*, v. 41, p. 4–11, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13131-021-1909-9>

ZHANG, M.-Q. et al. Effects of integrated multi-trophic aquaculture on microbial communities, antibiotic resistance genes, and cultured species: a case study of four mariculture systems. *Aquaculture*, v. 557, p. 738322, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738322>

ZHANG, Y.; BLEEKER, A.; LIU, J. Nutrient discharge from China's aquaculture industry and associated environmental impacts. *Environmental Research Letters*, v. 10, p. 045002, 2015. DOI: [10.1088/1748-9326/10/4/045002](https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/4/045002)

ZHENG, Y. et al. Bacterial community associated with healthy and diseased Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) larvae and rearing water across different growth stages. *Frontiers in Microbiology*, v. 8, p. 1362, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01362>

PARECER FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Discente: JULIA PANULA VALENTE

Título: "COMPARAÇÃO DA ESTRUTURA MICROBIANA EM SISTEMAS DE MONOCULTIVO E AQUICULTURA MULTITRÓFICA SOB A PERSPECTIVA DA TEORIA ECOLÓGICA r/K: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA"

Orientador: Profa. Dra. Alessandra da Silva Augusto

Curso/Habilitação: Bacharelado em Ciências Biológicas/Gerenciamento Costeiro

COMISSÃO EXAMINADORA	CONCEITO
Profa. Dra. Alessandra da Silva Augusto	Aprova
MSC. Fabrini Copetti Temistocles Menezes	Aprova
Prof. Dr. Rodrigo Schweitzer	Aprova

PARECER:

O trabalho apresenta forma e conteúdo muito bem desenvolvidos e adequados a um trabalho de conclusão de curso

CONCEITO FINAL:

A Comissão Examinadora abaixo assinada conclui que a discente **Julia Panula Valente** obteve o seguinte conceito:

APROVADO

REPROVADO

São Vicente, 11 de dezembro de 2025.


Profa. Dra. Alessandra da Silva Augusto


MSC. Fabrini Copetti Temistocles Menezes


Prof. Dr. Rodrigo Schweitzer