



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE AQUICULTURA
CURSO ENGENHARIA DE AQUICULTURA

Maria Helena de Araújo Mendes

**Bioflocos na alimentação do pepino-do-mar *Holothuria grisea*
(Holothuroidea:aspidochirotida)**

Florianópolis

2025

Maria Helena de Araújo Mendes

**Bioflocos na alimentação do pepino-do-mar *Holothuria grisea*
(Holothuroidea:Aspidochirotida)**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia de Aquicultura do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de aquicultura.

Orientador: Prof. Dr. Walter Quadros Seiffert

Florianópolis

2025

Maria
de

Mendes , Maria Helena de Araújo
Bioflocos na alimentação do pepino-do-mar *Holothuria
grisea* (Holothuroidea:Aspidochirotida) / Maria Helena de
Araújo Mendes ;orientador, Walter Quadros Seiffert, 2025.
32 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agrárias, Graduação em Engenharia de Aquicultura,
Florianópolis, 2025.

Inclui referências.

1. Engenharia de Aquicultura. 2. Sólidos suspensos
totais . 3. Sistema de bioflocos . 4. *Holothuria grisea*. I.
Seiffert, Walter Quadros . II. Universidade Federal de
Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Aquicultura.
III. Título.

Helena
Araújo
Mendes

**Bioflocos na alimentação do pepino-do-mar *Holothuria grisea*
(Holothuroidea:Aspidochirotida)**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em engenharia de aquicultura e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia de aquicultura.

Local: Florianópolis, 26 de novembro de 2025.

Insira neste espaço
a assinatura

Coordenação do Curso

Banca examinadora

Insira neste espaço
a assinatura

Prof. Dr.Walter Quadros Seiffert

Orientador

Insira neste espaço
a assinatura

Dr. Guilherme Sabino Rupp

Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

EPAGRI

Insira neste espaço
a assinatura

Dr. Otávio Rechsteiner Maghelly

Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 2025.

*Dedico esse trabalho aos meus pais
Raimunda Nonata Ferreira de Araújo e
Paulo César mendes*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, antes de tudo, à minha família, meu maior alicerce ao longo desses cinco anos. Aos meus pais, Paulo César Mendes e Raimunda Nonata, que abraçaram meu sonho como se fosse deles.

Guardo com carinho a memória da minha avó Maria de Fátima (*in memoriam*), que, mesmo distante, nunca deixou de me apoiar e abençoar na busca por este sonho.

Sou grata à minha irmã Mayara, que tantas vezes me acalmou durante as semanas de prova e me mostrou que eu jamais estaria sozinha.

Agradeço também às minhas primas Isabela e Bruna, aos meus irmãos Felipe e Paulo, e ao meu tio Marcos Paulo, que me acolheu com tanto carinho durante a pandemia.

Aos amigos que caminharam ao meu lado nessa jornada, especialmente Jhony e Beatriz, obrigada por dividirem o peso, o cansaço e as vitórias. Vocês foram fundamentais em cada momento, seja de alegria, seja de desafio.

Sou grata ainda pelos amigos que a vida colocou no meu caminho: Julia, João, Jeisa, Everton, Bruna Rockember, Paulo e Jamily.

Meu carinho especial vai para Thaís Brito, que me ofereceu casa, apoio e amizade desde o primeiro instante em que cheguei a Santa Catarina. Mesmo sem me conhecer, me acolheu como família e esteve presente em todas as fases, boas ou difíceis.

Agradeço a Izabel Funo e Adroaldo, que acreditaram em mim desde o começo.

Ao time do LCM/UFSC, meu muito obrigada: Scheila, Felipe, Isabela Pinheiro, Flávia, Claudinha, Talita Gagliard, Camila Miranda e Geferson Mário, que dividiu comigo baldes de BFT, trabalho e muitos desafios. Agradeço também a Carlos Miranda pelas inúmeras vezes em que salvou a estrutura do experimento.

Agradeço ao Dr. Guilherme Sabino Rupp pelo apoio e pelas orientações durante o desenvolvimento desta pesquisa, realizada em parceria com a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) e a empresa Aquaeficiência

E, por fim, ao meu orientador, Walter Quadros Seiffert, agradeço pela confiança, pela oportunidade de realizar esta pesquisa e por toda a orientação e apoio ao longo do caminho.

RESUMO

Este estudo avaliou o potencial da tecnologia de bioflocos (BFT) como fonte alimentar para o pepino-do-mar *Holothuria grisea*, visando sua aplicação em sistemas de aquicultura multitrófica integrada (IMTA). Quarenta e oito indivíduos foram distribuídos em 16 unidades experimentais (60 L) e submetidos a quatro tratamentos com diferentes concentrações de sólidos suspensos totais (SST): T1 (0–150 mg L⁻¹), T2 (200–350 mg L⁻¹), T3 (400–550 mg L⁻¹) e T4 (600–750 mg L⁻¹). Bioflocos maduros provenientes de um cultivo de *Penaeus vannamei* foram utilizados como fonte de matéria particulada. Durante 42 dias, foram avaliados o crescimento, a sobrevivência, a microbiota intestinal e as características das fezes. Não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$) no comprimento ou peso corporal entre os tratamentos, indicando tolerância de *H. grisea* às diferentes concentrações de SST testadas. Contudo, a largura corporal apresentou redução significativa com o aumento da SST ($p = 0,019$). A sobrevivência foi de 100% em todos os grupos. As contagens de bactérias heterotróficas viáveis (meio TSA) e de *Vibrio spp.* (meio TCBS) foram significativamente maiores ($p < 0,05$) no tratamento com menor concentração de bioflocos (T1). O peso úmido e o peso seco das fezes foram significativamente maiores ($p < 0,05$) nos tratamentos T2, T3 e T4 em relação ao T1, evidenciando maior acúmulo de matéria particulada sob concentrações intermediárias e elevadas de bioflocos. Os resultados indicam que *H. grisea* pode ser integrada a sistemas BFT, atuando como detritívoro e reciclador de matéria orgânica. Embora o consumo de bioflocos não tenha promovido aumento significativo no crescimento somático no período experimental, esses achados reforçam o potencial da espécie para integração em sistemas multitróficos de aquicultura, contribuindo para a sustentabilidade e eficiência produtiva do cultivo intensivo.

Palavras-chave: Sólidos suspensos totais; Bioflocos; *Holothuria grisea*.

ABSTRACT

This study evaluated the potential of biofloc technology (BFT) as a food source for the sea cucumber *Holothuria grisea*, targeting its application in integrated multitrophic aquaculture (IMTA) systems. Forty-eight individuals were distributed among 16 experimental units (60 L) and subjected to four treatments with varying concentrations of total suspended solids (TSS): T1 (0–150 mg L⁻¹), T2 (200–350 mg L⁻¹), T3 (400–550 mg L⁻¹), and T4 (600–750 mg L⁻¹). Mature bioflocs from a *Penaeus vannamei* culture were used as the source of particulate matter. Over a 42-day period, growth, survival, intestinal microbiota, and fecal characteristics were evaluated. No significant differences ($p > 0.05$) in body length or weight were observed among treatments, indicating that *H. grisea* tolerated the different TSS concentrations tested. However, body width decreased significantly with increasing TSS levels ($p = 0.019$). Survival was 100% across all groups. Counts of viable heterotrophic bacteria (TSA medium) and *Vibrio* spp. (TCBS medium) were significantly higher ($p < 0.05$) in the treatment with the lowest biofloc concentration (T1). Both wet and dry fecal weights were significantly higher ($p < 0.05$) in T2, T3, and T4 compared to T1, evidencing greater accumulation of particulate matter under intermediate and high biofloc concentrations. The results indicate that *H. grisea* can be integrated into BFT systems, like a detritivore and an organic matter recycler. Although biofloc consumption did not promote significant somatic growth during the experimental period, these findings reinforce the potential of this species for integration into multitrophic aquaculture systems, contributing to the sustainability and productive efficiency of intensive culture.

Keywords: Total suspended solids; Biofloc; *Holothuria grisea*.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Variação do comprimento total, largura máxima e peso corporal de *Holothuria grisea* após 42 dias mantidos em sistema de bioflocos sob quatro faixas de concentração de sólidos suspensos totais (0–150, 200–350, 400–550 e 600–750 mg·L⁻¹). Valores expressos em média e desvio padrão.....21
- Figura 2.** Contagem de bactérias heterotróficas totais (TSA) e *Vibrio spp.* (TCBS) no intestino de *Holothuria grisea* após 42 dias mantidos em quatro concentrações de sólidos suspensos totais (0–150, 200–350, 400–550 e 600–750 mg·L⁻¹).....22
- Figura 3.** Avaliação de fezes úmidas e secas de *Holothuria grisea* ao longo de 42 dias mantidos em sistema de bioflocos sob diferentes concentrações de sólidos suspensos totais (0–150, 200–350, 400–550 e 600–750 mg·L⁻¹). Valores médios expressos em gramas ± desvio padrão.....24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos da água durante 42 dias em que *Holothuria grisea* foi mantida em sistema de bioflocos sob quatro faixas de concentração de sólidos suspensos totais (0–150, 200–350, 400–550 e 600–750 mg·L⁻¹) Valores expressos como média ± desvio padrão.20

Tabela 2. Composição proximal das fezes de *Holothuria grisea* mantida em sistema de bioflocos sob três faixas de concentração de sólidos suspensos totais (200–350, 400–550 e 600–750 mg·L⁻¹) durante 42 dias. Valores expressos em porcentagem de matéria seca.....25

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	15
2.1	Objetivos geral	15
2.2	Objetivos específicos	15
3	MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1	Coleta e manutenção dos animais	16
3.2	Delineamento e unidades experimentais	16
3.3	Estabelecimento e manutenção das concentrações de bioflocos	17
3.4	Coleta de fezes	17
3.5	Qualidade de água.....	18
3.6	Análise da microbiota intestinal.....	18
3.7	Avaliação de parâmetros biométricos	19
3.8	Análise Estatística.....	19
4	RESULTADOS	20
4.1	Sobrevivência e parâmetros de qualidade de água	20
4.2	Parâmetros de crescimento	21
4.3	Análise da microbiota intestinal.....	22
4.4	Coleta e análise de fezes	23
5	DISCUSSÃO	25
6	CONCLUSÃO	28
7	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	29
	REFERÊNCIAS.....	32

1 INTRODUÇÃO

A aquicultura constitui componente central da segurança alimentar global e alcançou níveis de produção historicamente elevados na última década. Em 2022 a produção global total de organismos aquáticos atingiu 223,2 milhões de toneladas, refletindo a crescente demanda por fontes aquícolas de proteína animal (FAO, 2024). Ao mesmo tempo, a intensificação dos sistemas de cultivo tem trazido desafios ambientais e sanitários que limitam sustentabilidade e expansão do setor, incluindo acúmulo de matéria orgânica e deterioração da qualidade da água (Hegde *et al.*, 2023; Lo *et al.*, 2023, 2022).

Diante desses desafios, diversas inovações tecnológicas têm sido desenvolvidas para aumentar a produção sem ampliar impactos negativos. Entre as abordagens mais adotadas estão sistemas de recirculação aquícola, monitoramento digital, arranjos de aquicultura multitrófica integrada (IMTA) e tecnologia de bioflocos (BFT) (Dawood; Koshio; Esteban, 2018; Gupta *et al.*, 2024; Khanjani; Sharifinia; Emerenciano, 2024; Khanjani; Zahedi; Mohammadi, 2022; Li *et al.*, 2025). A BFT destaca-se por transformar compostos nitrogenados em biomassa microbiana nutritiva, ao mesmo tempo em que estabiliza parâmetros de qualidade de água e reduz a necessidade de renovação hídrica (Avnimelech, 1999; Minaz *et al.*, 2024). Em sistemas comerciais, a BFT tem mostrado viabilidade técnica e econômica, sobretudo em cultivos intensivos como os de *Penaeus vannamei* (Almeida *et al.*, 2024; Grosso *et al.*, 2021; Hussain *et al.*, 2021; Schweitzer *et al.*, 2024).

A integração de organismos extrativos e detritívoros em arranjos multitróficos oferece oportunidade para incrementar a eficiência ecológica dos sistemas intensivos. Pepinos-do-mar são *deposit-feeders* especialistas na ingestão e processamento de partículas sedimentares, promovendo aceleração da decomposição de matéria orgânica e bioturbação do substrato, o que favorece processos microbianos de reciclagem de nutrientes (Cerqueira, 2021; Pierrat *et al.*, 2022; Upling, 2020). Essas características fazem dos holoturóideos candidatos naturais para incorporar serviços de remoção e transformação de resíduos em sistemas IMTA.

Holothuria grisea reúne atributos biológicos e econômicos que justificam sua avaliação em sistemas BFT-IMTA. A espécie apresenta distribuição geográfica desde a região do Golfo do México, Caribe até o litoral brasileiro, sendo seu limite

sul de distribuição o estado de Santa Catarina, além disso, apresenta tolerância a variações ambientais e capacidade de processar material particulado em taxas relevantes para a ciclagem de nutrientes (Grosso *et al.*, 2021; Rupp *et al.*, 2023). Além disso, o crescente interesse comercial por pepinos-do-mar em mercados asiáticos e por derivados bioativos reforça o potencial zootécnico da espécie como componente de cadeias produtivas integradas (Purcell; Shea; Gray, 2025).

Apesar do potencial zootécnico e ecológico, ainda existem lacunas significativas sobre a resposta de *H. grisea* a condições típicas de cultivo em bioflocos. Em especial, faltam estudos experimentais que investiguem de forma sistemática como diferentes concentrações de sólidos suspensos totais (SST) influenciam parâmetros fisiológicos, comportamentais e microbiológicos da espécie. Embora revisões recentes abordem o uso da tecnologia de bioflocos para pepinos-do-mar, sobretudo *Apostichopus japonicus*, o conhecimento sobre a tolerância de *H. grisea* a distintos níveis de SST e à composição dos bioflocos permanece incipiente (Xiao *et al.*, 2024). O nível de SST é um fator operacional crítico em BFT, pois determina disponibilidade e composição da biomassa microbiana, além de influenciar a dinâmica de patógenos oportunistas e a seletividade alimentar de deposit-feeders (Akange *et al.*, 2024; Khanjani; Sharifinia; Emerenciano, 2024).

Evidências de outros detritívoros indicam sensibilidade às mudanças na carga de sedimento e material particulado, com reduções nas taxas de alimentação à medida que a concentração de sólidos aumenta, implicando efeitos em eficiência nutritiva e composição da microbiota intestinal (Tebbett; Goatley; Bellwood, 2017). Em pepinos-do-mar a microbiota tem papel central na digestão e pode responder rapidamente a alterações na qualidade do alimento, impactando produção fecal e reciclagem de nutrientes, processos diretamente relevantes para o desempenho funcional em IMTA (Joly *et al.*, 2020; Weigel, 2020; Yamazaki *et al.*, 2020). Além disso, organismos detritívoros convertem matéria orgânica em fezes de forma a acelerar a ciclagem de nutrientes, processo que pode ser modulado pela disponibilidade de substrato (Joly *et al.*, 2020).

Para preencher essas lacunas, o presente estudo avaliou a resposta de *H. grisea* cultivada sob condições controladas de bioflocos em quatro faixas de concentração de SST (0–150, 200–350, 400–550 e 600–750 mg.L⁻¹). Foram examinados parâmetros biométricos, taxas de sobrevivência, tolerância, dinâmica da microbiota intestinal por meios culturais e análise proximal das fezes. Os bioflocos

empregados originaram-se de cultivo comercial de camarão estabilizado, garantindo comunidade microbiana madura. Espera-se que os resultados subsidiem protocolos de manejo e parâmetros operacionais para integração segura e eficiente de *H. grisea* em sistemas BFT-IMTA, contribuindo tanto para a sustentabilidade ecológica quanto para a viabilidade produtiva da aquicultura intensiva.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos geral

Avaliar a resposta biológica e microbiológica de *Holothuria grisea* mantida em sistema de bioflocos sob diferentes concentrações de sólidos suspensos totais, visando seu potencial de uso como espécie detritívora em arranjos de aquicultura multitrófica integrada.

2.2 Objetivos específicos

- a) Investigar os efeitos de diferentes concentrações de sólidos suspensos totais sobre parâmetros de crescimento, sobrevivência e desempenho zootécnico de *Holothuria grisea*;
- b) Avaliar a produção e composição das fezes como indicador da ingestão de material particulado e do potencial de reciclagem de nutrientes pela espécie;
- c) Avaliar os parâmetros físico-químicos de água em *Holothuria grisea* sob diferentes concentrações de sólidos suspensos totais;
- d) Analisar a influência dos níveis de bioflocos na composição da microbiota intestinal, com ênfase em bactérias heterotróficas e *Vibrio* spp..

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Coleta e manutenção dos animais

Este estudo foi conduzido sob aprovação do Ministério do Meio Ambiente do Brasil (Licença MMA/SISBIO nº 93050-1) para coleta de fauna nativa. Quarenta e oito espécimes de *Holothuria grisea* foram coletados em substrato areno-rochoso da zona entremarés na Maré baixa na Armação do Itapocoroy (26°47'40.67"S, 48°36'8.25"W), em maio de 2024 município de Penha, Estado de Santa Catarina, Brasil.

Após a coleta, os animais foram transportados até o Laboratório de Camarões Marinhos da Universidade Federal de Santa Catarina (LCM/UFSC) em uma caixa térmica de 50 L contendo água do mar e areia proveniente do local de coleta, com o objetivo de minimizar o estresse de transporte e manter a microbiota natural. No laboratório os animais foram mantidos em tanque de 6 toneladas com substrato arenoso e alimentados diariamente “*ad libitum*” com um mix de micro e macroalgas até o início do experimento.

3.2 Delineamento e unidades experimentais

O experimento foi realizado no LCM/UFSC durante 42 dias consecutivos. Utilizou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro tratamentos em réplicas ($n = 4$ repetições por tratamento), totalizando 16 unidades experimentais. Cada unidade experimental consistiu em uma caixa retangular de polipropileno opaca de 60 L (volume útil: 50 L) com três indivíduos de *H. grisea* (densidade de estocagem: 0,05 ind./L).

Os quatro tratamentos correspondiam a diferentes faixas de concentração de SST, expressas em $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$: T1 (0–150), T2 (200–350), T3 (400–550) e T4 (600–750). Cada unidade experimental foi equipada com um aquecedor de imersão Roxin, modelo HT-1300/Q3 (100 W, 110 V), para manutenção da temperatura, e aeração contínua fornecida por mangueira microporosa conectada a um compressor de ar, resultando em uma aeração de aproximadamente 6 mg/L por tanque. Os bioflocos utilizados foram originários de um tanque matriz contendo bioflocos maduros

(processo de nitrificação já estabelecido) provenientes de cultivos comerciais de camarão-branco-do-pacífico (*Penaeus vannamei*), garantindo estabilidade microbiana e composição padronizada da comunidade biótica.

3.3 Estabelecimento e manutenção das concentrações de bioflocos

Semanalmente, bioflocos do tanque matriz foram coletados via bombeamento e diluídos em água do mar para atingir as concentrações-alvo especificadas para cada tratamento. Conforme a metodologia adaptada de Schweitzer (2012), as concentrações de SST foram determinadas por meio de uma curva de calibração previamente estabelecida entre a turbidez medida em unidades Nephelométricas de Turbidez (NTU) e a concentração correspondente de SST ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$). A correlação entre turbidez e SST foi obtida por regressão linear a partir de medições simultâneas e repetidas em diferentes intervalos de concentração.

Após a determinação da concentração de SST no tanque matriz via turbidimetria, aplicou-se a equação de diluição simples para calcular o volume de bioflocos a ser transferido para cada unidade experimental:

$$C1 \times V1 = C2 \times V2$$

Sendo: C1 = concentração de SST medida no tanque matriz ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$); V1 = volume de bioflocos coletado do tanque matriz (mL); C2= concentração de SST desejada para cada tratamento ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$); V2= volume final de água do mar nas unidades experimentais (50 L).

3.4 Coleta de fezes

Fezes de *H. grisea* foram coletadas semanalmente, sempre 24 horas após a diluição do bioflocos, para assegurar composição padronizada do material ingerido. As coletas foram realizadas com pipeta Pasteur esterilizada, tendo cuidado para evitar resuspensão de partículas sedimentadas. As fezes coletadas foram transferidas imediatamente para tubos Falcon de 15 mL estéreis. Na sequência, retirava-se o excesso de água livre e posteriormente as amostras eram pesadas em balança analítica de precisão ($\pm 0,001$ g) para obtenção do peso úmido. As amostras foram então colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 105 °C durante 24 horas até peso constante, para determinação do peso seco.

Subamostras de fezes desidratadas em pool por tratamento (aproximadamente 18 g) foram enviadas ao Laboratório CBO Análises Ambientais (São Paulo, SP, Brasil) para determinação de composição proximal conforme metodologia padrão da *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC): proteína bruta (Micro-Kjeldahl), extrato etéreo (método de Soxhlet), fibra bruta (digestão ácida/alcalina sequencial) e matéria mineral (incineração a 550 °C por 3 horas).

3.5 Qualidade de água

Parâmetros de qualidade de água foram mensurados semanalmente, sempre no mesmo horário (13:h30) para minimizar variações diárias. As variáveis avaliadas incluíram: (i) concentração de amônia total, determinada pelo método idofenol; (ii) concentração de nitrito, pelo método colorimétrico diazotação; (iii) alcalinidade total, expressa como mg·L⁻¹ de CaCO₃ equivalente, mediante titulação com HCl 0,1 M; (iv) pH, mensurado com potenciômetro calibrado em *buffers* de pH 7,0 e 4,0; (v) salinidade, determinada por sonda multiparâmetro YSI EcoSense EC300A. Os resultados foram expressos como média ± desvio padrão.

3.6 Análise da microbiota intestinal

Ao término do período experimental (dia 42), um indivíduo de cada unidade experimental foi anestesiado, adicionados em um recipiente contendo cloreto de magnésio e posteriormente o trato intestinal completo foi dissecado sob condições assépticas. Os intestinos foram homogeneizados em solução salina estéril a 3% (SSE) usando homogeneizador mecânico (vórtex a 3.000 rpm por 2 minutos), e submetidos a diluições seriais seriadas decimais (10⁻¹ a 10⁻⁶) em SSE estéril.

Alíquotas de 100 µL de cada diluição foram semeadas por disseminação em superfície (spread plate) nos seguintes meios de cultura: (i) Ágar Tiosulfato-Citrato-Bile-Sacarose (TCBS): para isolamento e contagem seletiva de *Vibrio spp.*; (ii) Ágar Tryptic Soy Agar (TSA) com sal 3%: para contagem de bactérias heterotróficas viáveis aeróbias.

As placas foram incubadas em estufa bacteriológica a 30 ± 1 °C em atmosfera aeróbia. Contagens de unidades formadoras de colônias (UFC) foram realizadas

após 24 horas de incubação. Os resultados foram expressos como $\text{Log}_{10} \text{UFC} \cdot \text{mL}^{-1}$ de homogeneizado intestinal.

3.7 Avaliação de parâmetros biométricos

Cada organismo foi manipulado a fim de induzir a contração corporal e a eliminação do fluido interno, passando-os em seguida, em papel absorvente para remoção do excesso de água nas paredes do corpo. No início (T_0) e ao final do experimento (T_{42}), todos os indivíduos foram mensurados quanto a: (i) comprimento total do corpo (CT), medido da boca até a extremidade do ânus, em centímetros; (ii) largura máxima do corpo, medida na região central do animal, em centímetros; (iii) peso corporal total, determinado em balança analítica de precisão ($\pm 0,1$ g) após secagem superficial do animal com papel filtro. O crescimento foi calculado como a variação média de cada parâmetro durante o período experimental.

3.8 Análise Estatística

Todos os dados foram testados quanto aos pressupostos de normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variâncias (teste de Bartlett). Dados que atenderam aos pressupostos foram submetidos à análise de variância paramétrica de um fator (*one-way* ANOVA), seguida pelo teste de comparação múltipla de Tukey (HSD) quando diferenças significativas foram detectadas. Para dados que violaram os pressupostos de normalidade ou homogeneidade de variâncias, utilizou-se a análise de variância não paramétrica de *Kruskal-Wallis*, seguida pelo teste de *Dunn* para comparações múltiplas pareadas.

Todos os testes foram realizados com nível de significância de $\alpha = 0,05$. Os dados foram organizados e analisados utilizando-se o ambiente estatístico R (versão 4.5.2; R Core Team, 2023) com interface RStudio (versão 2025.09.2), empregando os pacotes adicionais *tidyverse*, *ggplot2* (para visualização gráfica) e *agricolae* (para testes post-hoc). Os pressupostos foram verificados através dos pacotes *nortest* (teste de normalidade) e *lawstat* (teste de homocedasticidade).

4 RESULTADOS

4.1 Sobrevivência e parâmetros de qualidade de água

Durante os 42 dias do período experimental, a sobrevivência de *Holothuria grisea* foi de 100% em todos os tratamentos (T1, T2, T3 e T4), indicando tolerância completa aos diferentes níveis de concentração de sólidos suspensos testados. Os parâmetros físico-químicos da água foram monitorados semanalmente e apresentados na Tabela 1. O pH permaneceu relativamente estável entre os tratamentos, variando de $8,22 \pm 0,13$ (T4) a $8,27 \pm 0,03$ (T2 e T3), sem diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$). Da mesma forma, a concentração de nitrito manteve-se dentro de faixas adequadas ($0,14 \pm 0,08$ a $0,27 \pm 0,15$ mg·L⁻¹), não apresentando variações significativas entre tratamentos ($p > 0,05$).

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos da água durante 42 dias em que *Holothuria grisea* foi mantida em sistema de bioflocos sob quatro faixas de concentração de sólidos suspensos totais (0–150, 200–350, 400–550 e 600–750 mg·L⁻¹) Valores expressos como média \pm desvio padrão.

Tratamento	Amônia	Nitrito	Alcalinidade	pH	Salinidade
0–150 mg·L ⁻¹	$0,35 \pm 0,12$ b	$0,14 \pm 0,08$	$121 \pm 2,00$ b	$8,26 \pm 0,02$	$31,15 \pm 0,71$ b
200–350 mg·L ⁻¹	$0,14 \pm 0,04$ ab	$0,23 \pm 0,07$	$131 \pm 6,83$ ab	$8,27 \pm 0,03$	$32,13 \pm 1,05$ ab
400–550 mg·L ⁻¹	$0,16 \pm 0,17$ a	$0,27 \pm 0,15$	$139 \pm 7,66$ ab	$8,27 \pm 0,03$	$32,73 \pm 0,69$ ab
600–750 mg·L ⁻¹	$0,23 \pm 0,18$ ab	$0,24 \pm 0,11$	$155 \pm 10,52$ a	$8,22 \pm 0,13$	$33,65 \pm 0,54$ a

Letras diferentes representam diferenças estatísticas significativas pelo teste Kruskal-Wallis ($P < 0,05$).

Em contraste, foram observadas diferenças significativas para os demais parâmetros. A concentração de amônia total foi significativamente maior em T1 ($0,35 \pm 0,12$ mg·L⁻¹) comparado a T3 ($0,16 \pm 0,17$ mg·L⁻¹; $p < 0,05$), enquanto T2 ($0,14 \pm 0,04$ mg·L⁻¹) e T4 ($0,23 \pm 0,18$ mg·L⁻¹) apresentaram valores intermediários sem diferenças significativas entre si ($p > 0,05$).

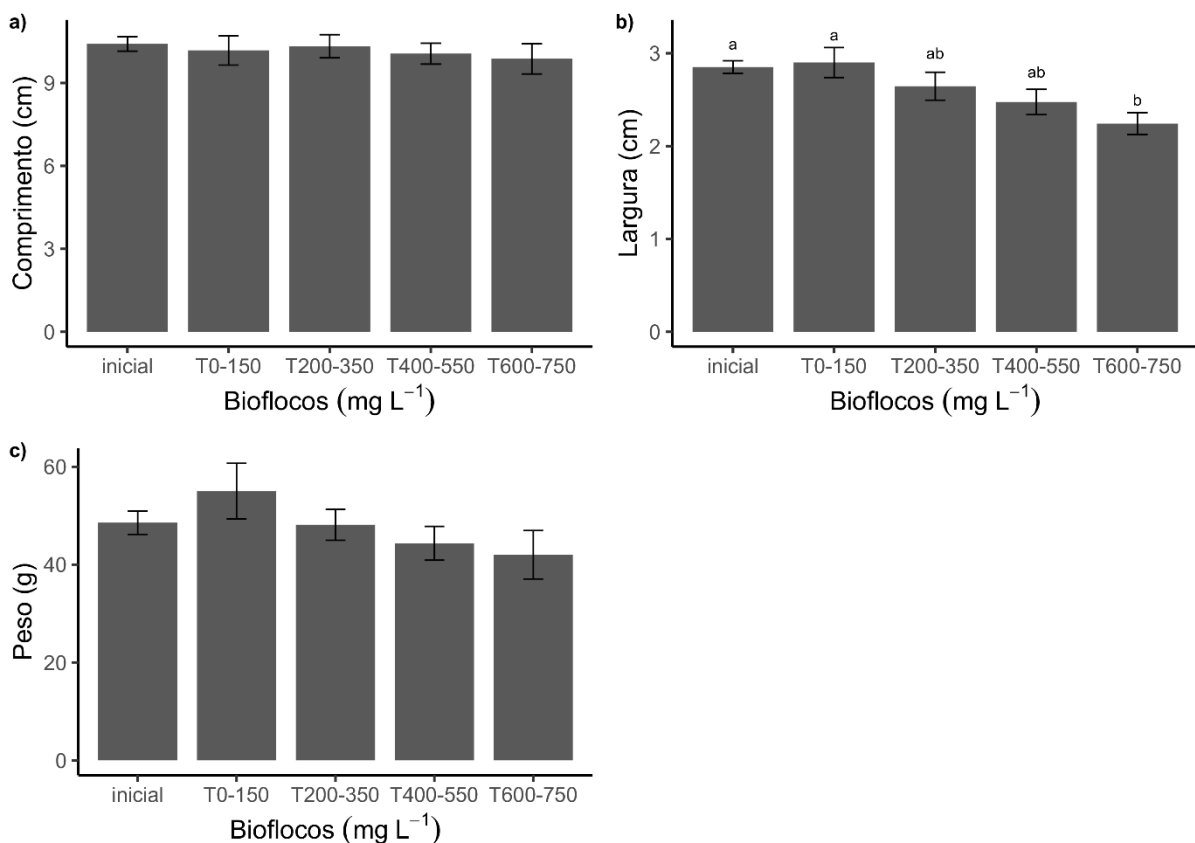
A alcalinidade total apresentou uma tendência de aumento gradual com a concentração de sólidos suspensos, com valores variando de $121 \pm 2,00$ mg·L⁻¹ CaCO₃ equivalente (T1) a $155 \pm 10,52$ mg·L⁻¹ CaCO₃ equivalente (T4), sendo esta última significativamente superior à primeira ($p < 0,05$). A salinidade seguiu um

padrão similar, aumentando de $31,15 \pm 0,71 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ (T1) para $33,65 \pm 0,54 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ (T4), com T4 significativamente superior a T1 ($p < 0,05$).

4.2 Parâmetros de crescimento

Conforme a figura 1, os parâmetros biométricos (comprimento, largura e peso) foram avaliados no início (T_0) e ao final do experimento (T_{42}). Não foram detectadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos para comprimento ($F_{(4,87)} = 0,294$; $p = 0,881$) e peso ($H = 2,835$; $p = 0,586$).

Figura 1. Variação do comprimento total, largura máxima e peso corporal de *Holothuria grisea* após 42 dias mantidos em sistema de bioflocos sob quatro faixas de concentração de sólidos suspensos totais (0–150, 200–350, 400–550 e 600–750 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$). Valores expressos em média e desvio padrão.



(a) Comprimento; (b) Largura; (c) Peso médio dos indivíduos. As barras representam a média \pm desvio padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

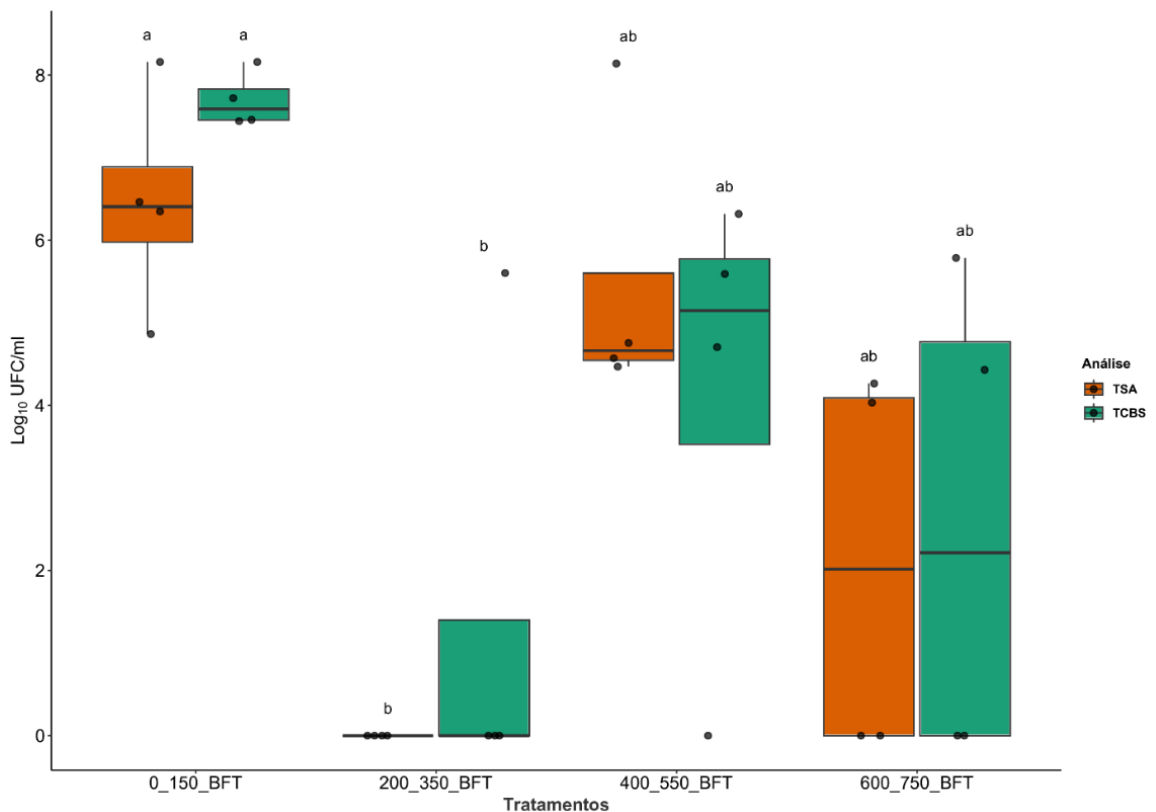
A largura, por sua vez apresentou uma redução significativa com o aumento da concentração de SST, variando de 2,95 cm (T1) a 2,0 cm (T4), com diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos ($H = 18,031$; $p = 0,001$). As

comparações pareadas pelo teste de *Dunn* revelaram diferenças significativas entre T1 versus T4 ($p = 0,019$), indicando um efeito dose-dependente da concentração de SST sobre a largura do corpo.

4.3 Análise da microbiota intestinal

No meio de cultura Tryptic Soy Agar (TSA), uma diferença significativa foi detectada entre T1 ($8,91 \pm 0,34 \text{ Log}_{10} \text{ UFC}\cdot\text{mL}^{-1}$) e T2 ($7,88 \pm 0,51 \text{ Log}_{10} \text{ UFC}\cdot\text{mL}^{-1}$; $p < 0,05$), com T1 apresentando contagens significativamente maiores (Figura 2). Os tratamentos T3 ($7,63 \pm 0,68 \text{ Log}_{10} \text{ UFC}\cdot\text{mL}^{-1}$) e T4 ($7,55 \pm 0,72 \text{ Log}_{10} \text{ UFC}\cdot\text{mL}^{-1}$) não diferiram significativamente de T2 ($p > 0,05$), sugerindo uma redução abrupta nas contagens de bactérias heterotróficas aeróbias entre T1 e T2, com posteriores ajustes fisiológicos nos níveis mais elevados de SST.

Figura 2. Contagem de bactérias heterotróficas totais (TSA) e *Vibrio* spp. (TCBS) no intestino de *Holothuria grisea* após 42 dias mantidos em quatro concentrações de sólidos suspensos totais (0–150, 200–350, 400–550 e 600–750 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$).



No meio TCBS, seletivo para *Vibrio* spp., foi observado padrão similar: T1 apresentou contagens de $8,34 \pm 0,41 \text{ Log}_{10} \text{ UFC}\cdot\text{mL}^{-1}$, significativamente superior a T2 ($6,72 \pm 0,55 \text{ Log}_{10} \text{ UFC}\cdot\text{mL}^{-1}$; $p < 0,05$). Os tratamentos T3 ($6,48 \pm 0,43 \text{ Log}_{10} \text{ UFC}\cdot\text{mL}^{-1}$) e T4 ($6,51 \pm 0,38 \text{ Log}_{10} \text{ UFC}\cdot\text{mL}^{-1}$) não apresentaram diferenças significativas entre si ou em relação a T2 ($P > 0,05$).

As maiores contagens bacterianas foram consistentemente observadas em T1, onde a concentração de sólidos suspensos era mínima, sugerindo que baixas densidades de material particulado favorecem a proliferação de bactérias heterotróficas no trato intestinal de *H. grisea*. Concentrações intermediárias e elevadas de bioflocos (T2–T4) resultaram em redução significativa das contagens em ambos os meios.

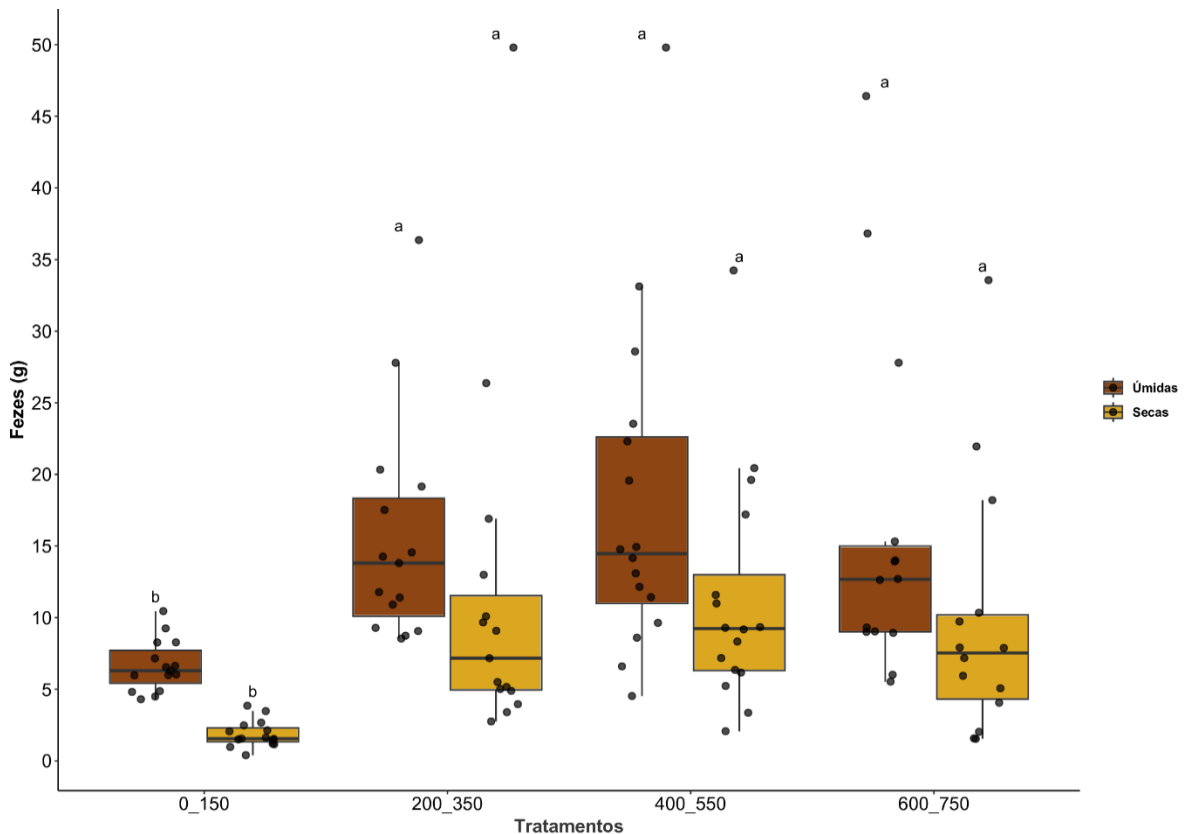
4.4 Coleta e análise de fezes

As fezes de *H. grisea* coletadas semanalmente apresentaram variações significativas em sua produção e composição ao longo dos diferentes tratamentos. O peso úmido das fezes aumentou significativamente com a concentração de sólidos suspensos, partindo de $9,41 \pm 0,68 \text{ g}$ em T1 ($0\text{--}150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) para $10,93 \pm 0,26 \text{ g}$ em T2 ($200\text{--}350 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), representando um incremento de aproximadamente 16% ($F_{(3,12)} = 8,654$; $p = 0,003$). Nos tratamentos subsequentes, o peso úmido estabilizou-se em valores próximos a T2, com T3 ($400\text{--}550 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) registrando $10,68 \pm 0,45 \text{ g}$ e T4 ($600\text{--}750 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) apresentando $10,57 \pm 0,52 \text{ g}$, sem diferenças significativas entre estes três tratamentos ($p > 0,05$) (Figura 3).

O peso seco das fezes seguiu uma tendência análoga, aumentando significativamente de $1,11 \pm 0,06 \text{ g}$ em T1 para $1,26 \pm 0,03 \text{ g}$ em T2 ($F_{(3,12)} = 10,723$; $p = 0,001$). T2, T3 ($1,24 \pm 0,04 \text{ g}$) e T4 ($1,23 \pm 0,05 \text{ g}$) exibiram valores significativamente superior ao T1, sem variação significativa entre si (Figura 3).

Embora o crescimento corporal não tenha variado significativamente entre os tratamentos, a composição e a quantidade dos detritos fecais evidenciam respostas fisiológicas relevantes às variações de SST, sendo as concentrações intermediárias ($200\text{--}350 \text{ mg L}^{-1}$; T2) potencialmente mais favoráveis à assimilação alimentar e ao aproveitamento dos bioflocos.

Figura 3. Avaliação de fezes úmidas e secas de *Holothuria grisea* ao longo de 42 dias mantidos em sistema de bioflocos sob diferentes concentrações de sólidos suspensos totais (0–150, 200–350, 400–550 e 600–750 mg·L⁻¹). Valores médios expressos em gramas ± desvio padrão.



A análise de composição proximal foi realizada exclusivamente em amostras coletadas de T2, T3 e T4, uma vez que a quantidade de fezes produzidas em T1 mostrou-se insuficiente para execução de análises quantitativas confiáveis. Os resultados da composição proximal (Tabela 2) revelam uma notável consistência nutricional entre os tratamentos analisados.

O teor de proteína bruta variou modestamente de $13,62 \pm 0,44\%$ em T3 a $14,25 \pm 0,38\%$ em T2, não apresentando diferenças significativas ($p = 0,426$). Os teores de extrato etéreo foram baixos em todas as amostras ($0,31\text{--}1,22\%$), com T3 exibindo um ligeiro aumento relativo, embora sem atingir significância estatística. A fibra bruta oscilou entre $3,96 \pm 0,21\%$ em T3 e $4,38 \pm 0,32\%$ em T2, novamente sem diferenças significativas entre tratamentos.

Tabela 2. Composição proximal das fezes de *Holothuria grisea* mantida em sistema de bioflocos sob três faixas de concentração de sólidos suspensos totais (200–350, 400–550 e 600–750 mg·L⁻¹) durante 42 dias. Valores expressos em porcentagem de matéria seca.

Tratamento	Proteína bruta	Extrato Etéreo	Fibra bruta	Matéria mineral
			(%)	
200–350 mg·L ⁻¹	14,25	0,31	4,38	62,78
400–550 mg·L ⁻¹	13,62	1,22	3,96	64,25
600–750 mg·L ⁻¹	14,16	0,95	4,08	63,16

Valores representam média ± desvio padrão. ANOVA não detectou diferenças significativas entre tratamentos para nenhum dos componentes (P > 0,05).

O componente mais expressivo correspondeu à matéria mineral, com concentrações elevadas variando de 62,78 ± 1,42% em T2 a 64,25 ± 0,98% em T3, refletindo a natureza sedimentar e mineralizada dos bioflocos maduros consumidos pelos pepinos-do-mar. Apesar da elevada proporção mineral, não foram observadas variações significativas na matéria mineral entre tratamentos (p = 0,389), sugerindo que o padrão de mineralização das fezes permanece estável independentemente da concentração de SST oferecida.

5 DISCUSSÃO

Os parâmetros físico-químicos permaneceram dentro das faixas consideradas adequadas para o cultivo de pepinos-do-mar e para sistemas BFT (Ebeling; Timmons; Bisogni, 2006), indicando que as diferenças de SST não comprometeram a estabilidade do ambiente. O pH e o nitrito mantiveram-se estáveis entre os tratamentos, o que é coerente com a literatura que descreve a capacidade do BFT de tamponar variações bruscas e manter o equilíbrio nitrogenado por meio da atividade microbiana nitrificante e heterotrófica (Ebeling; Timmons; Bisogni, 2006; Martinés-Córdova *et al.*, 2015).

A maior concentração de amônia total observada no T1 pode estar associada à menor atividade microbiana heterotrófica em sistemas com baixa quantidade de sólidos orgânicos, reduzindo a assimilação da amônia para crescimento bacteriano. Em contraste, o T3 apresentou o menor valor, reforçando que faixas intermediárias de SST favorecem comunidades microbianas mais

eficientes na ciclagem do nitrogênio (Wu *et al.*, 2024). O aumento gradual da alcalinidade e da salinidade com maiores concentrações de SST indica maior mineralização e liberação de íons, fenômeno já documentado em cultivos BFT altamente maduros (Crab *et al.*, 2012)

A alta sobrevivência (100%) em todos os tratamentos confirma a tolerância de *Holothuria grisea* a ambientes com diferentes cargas particuladas, similar ao reportado em estudos com outras espécies do gênero (Chen *et al.*, 2018; Contreras-Sillero *et al.*, 2020). Esses resultados sugerem que o pepino-do-mar apresenta robustez fisiológica e pode ser integrado a sistemas multitróficos com distintas intensidades de produção.

Neste estudo, *H. grisea* não apresentou diferenças significativas de crescimento em comprimento e peso entre as concentrações de SST testadas. A ausência de crescimento significativo em *H. grisea* pode estar relacionada ao seu crescimento naturalmente lento, e à baixa eficiência de assimilação típica do gênero, o que reduz a sensibilidade a mudanças na oferta alimentar em curto prazo (Hammond; Purcell, 2023; Najdegerami; Manaffar, 2024). Assim, embora *H. grisea* processe eficientemente os sólidos do sistema, seu papel em IMTA parece estar mais associado à biorremediação do que ao aumento rápido de crescimento em períodos reduzidos.

No entanto, a redução significativa da largura corporal observada entre T1 e T4 (de 2,95 cm para 2,0 cm, $p = 0,019$) sugere respostas morfológicas às variações de SST. Essa compressão corporal pode refletir uma adaptação postural ou alteração na turgidez tecidual em resposta às diferentes disponibilidades de material particulado e à composição da microbiota intestinal (Said; El-barbary; Ahmed, 2022). Apesar dessa variação dimensional, a manutenção do peso corporal em níveis similares entre tratamentos indica que a redução de largura não representa perda de biomassa, mas possível reorganização corporal em resposta ao ambiente.

As contagens bacterianas indicam que menores concentrações de bioflocos (T1) favorecem o crescimento de bactérias heterotróficas, provavelmente devido à maior disponibilidade de partículas orgânicas facilmente assimiláveis e menor competição microbiana em um ambiente com baixa densidade de sólidos (Bižić-Ionescu; Ionescu; Grossart, 2018). Por outro lado, concentrações mais elevadas de bioflocos (T2-T4) resultam em redução significativa das contagens de bactérias heterotróficas viáveis e *Vibrio* spp., sugerindo que maiores densidades de biomassa

microbiana modificam o ambiente intestinal, limitando a proliferação desses microrganismos (Xu *et al.*, 2022). Concentrações intermediárias de bioflocos (T2) parecem equilibrar a microbiota intestinal de *H. grisea*, reduzindo potenciais patógenos como *Vibrio* spp. enquanto mantêm comunidades bacterianas funcionais, embora mais estudos sejam necessários para confirmar esses efeitos.

A maior produção de fezes observada nos tratamentos com maiores concentrações de bioflocos (T2--T4) revela que *H. grisea* é eficiente em processar diferentes volumes de material particulado, mesmo quando o crescimento corporal não se altera significativamente. Isso condiz com o comportamento alimentar detritívoro, no qual a ingestão é contínua e a eficiência de assimilação pode ser baixa, resultando em grande volume de detritos (Joly *et al.*, 2020). A ausência de fezes suficientes para análise proximal no T1 reforça que concentrações muito baixas de sólidos não fornecem material particulado adequado para sustentar a ingestão contínua típica da espécie, confirmando que apenas em T2 em diante há produção fecal compatível com manutenção plena da atividade alimentar detritívora.

As análises proximais das fezes indicaram altos teores de matéria mineral (62-64%), característica típica de bioflocos maduros e de sedimentos inorgânicos. Os valores moderados de proteína bruta (13-14%) refletem a presença de biomassa microbiana residual e de partículas orgânicas parcialmente digeridas (MacTavish *et al.*, 2012), sugerindo seleção ativa de partículas nutritivas durante a alimentação (Pasquini *et al.*, 2023).

Esses resultados são relevantes para sistemas AMTI, pois demonstram que o pepino-do-mar atua efetivamente como "facilitador da reciclagem de nutrientes", reduzindo o acúmulo de sólidos orgânicos e contribuindo para a estabilidade do sistema (Zamora; Jeffs, 2012). A eficiência de *H. grisea* no processamento de bioflocos em diferentes concentrações, associada à redução de patógenos oportunistas em condições intermediárias a elevadas de SST, confirma seu potencial funcional em sistemas integrados. Portanto, *H. grisea* se mostra eficiente na reciclagem de nutrientes e na manutenção da estabilidade microbiana em sistemas BFT, mesmo sem promover aumento significativo de crescimento corporal no período experimental.

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo indicam que *H. grisea* reúne atributos funcionais e biológicos que a qualificam como espécie integrada a sistemas BFT-IMTA, operando efetivamente como detritívora e agente de reciclagem de matéria orgânica. Embora não apresente incrementos rápidos de crescimento em curto prazo, a espécie mantém viabilidade fisiológica completa, processa eficientemente diferentes cargas de material particulado e potencialmente reduz riscos associados a patógenos oportunistas. Esses resultados também contribuem para preencher lacunas importantes no conhecimento sobre *H. grisea* em condições de cultivo controlado e fornecem base técnica para desenvolvimento de protocolos de manejo aplicáveis a sistemas multitróficos de aquicultura.

7 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Considerando os resultados obtidos, recomenda-se que estudos futuros avaliem períodos experimentais mais prolongados para verificar impactos em crescimento a longo prazo, investiguem a composição detalhada da microbiota através de técnicas moleculares de sequenciamento, e validem a integração de *H. grisea* em sistemas comerciais BFT-IMTA de escala operacional, particularmente em associação com camarão *Penaeus vannamei*, avaliando a dinâmica de nutrientes e a viabilidade econômica de tais arranjos multiespecíficos.

Embora o fornecimento de bioflocos não tenha promovido aumentos significativos no crescimento somático durante o período experimental, resultado esperado dado o crescimento naturalmente lento do gênero, a espécie demonstrou respostas fisiológicas claras às variações de SST. A redução significativa da largura corporal entre T1 (0-150 mg·L⁻¹) e T4 (600-750 mg·L⁻¹) sugere adaptações morfológicas relacionadas à disponibilidade de material particulado e à composição da microbiota intestinal, eventos que não comprometem a biomassa total dos animais.

A eficiência detritívora de *H. grisea* é confirmada pela maior produção de fezes em concentrações intermediárias e elevadas de bioflocos (T2-T4), onde a ingestão de material particulado é otimizada. As análises composicionais das fezes revelam composição estável entre tratamentos, com elevados teores de matéria mineral (62-64%) que refletem o processamento de bioflocos maduros. Esses achados reforçam que a espécie opera efetivamente como recicladora de nutrientes, acelerando a transformação de detritos em material sedimentar estável, função crítica para a manutenção da qualidade da água em sistemas intensivos.

A dinâmica da microbiota intestinal apresenta padrão dose-dependente em relação à concentração de SST, com maiores contagens de bactérias heterotróficas em T1, onde a densidade de sólidos é mínima. Concentrações intermediárias a elevadas de bioflocos (T2-T4) promovem redução significativa de patógenos oportunistas, sugerindo que maiores densidades de biomassa microbiana modificam o microambiente intestinal de forma a limitar a proliferação de microrganismos potencialmente prejudiciais.

Os parâmetros físico-químicos permaneceram dentro das faixas adequadas para cultivo de pepinos-do-mar, indicando que o sistema BFT manteve estabilidade ambiental independentemente da concentração de SST, resultado coerente com a capacidade tamponadora descrita para sistemas de bioflocos. A ligeira redução de amônia em tratamentos com maiores concentrações de bioflocos reforça que a microbiota heterotrófica, quando em densidade adequada, desempenha papel crucial na assimilação de compostos nitrogenados.

REFERÊNCIAS

AKANGE, Edward Terhemen; AENDE, Athanasius Aondohemen; RASTEGARI, Hajar; ODEYEMI, Olumide A.; KASAN, Nor Azman. Swinging between the beneficial and harmful microbial community in biofloc technology: A paradox. **Heliyon**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. e25228, 15 fev. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25228>.

ALMEIDA, Marcos Souza de; CARRIJO, Juliana Rosa; FURTADO, Plínio Schmidt; FÓES, Geraldo Kipper; WASIELESKY, Wilson; BRAGA, André Luiz; GIMENES, Régio Marcio Toesca; POERSCH, Luís Henrique; RUVIARO, Clandio Favarini. Environmental performance of *Penaeus vannamei* shrimp production in intensive and super-intensive biofloc systems. **Aquacultural Engineering**, [S. l.], v. 107, p. 102434, 1 nov. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2024.102434>.

AVNIMELECH, Yoram. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. **Aquaculture**, [S. l.], v. 176, n. 3, p. 227–235, 15 jun. 1999. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00085-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00085-X).

BIŽIĆ-IONESCU, Mina; IONESCU, Danny; GROSSART, Hans-Peter. Organic Particles: Heterogeneous Hubs for Microbial Interactions in Aquatic Ecosystems. **Frontiers in Microbiology**, [S. l.], v. 9, 26 out. 2018. DOI: 10.3389/fmicb.2018.02569. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2018.02569/full>. Acesso em: 18 nov. 2025.

CERQUEIRA, Walter Ramos Pinto. Probable mortality of *Holothuria (Halodeima) grisea* (Selenka, 1867) (Echinodermata, Holothuroidea) after acute impact of oil spill in the Northeast of Brazil in 2019. **Arquivos de Ciências do Mar**, [S. l.], v. 54, n. 1, p. 61–68, 19 maio 2021. <https://doi.org/10.32360/acmar.v54i1.43608>.

CHEN, Jinghua; REN, Yichao; WANG, Guodong; XIA, Bin; LI, Yuquan. Dietary supplementation of biofloc influences growth performance, physiological stress, antioxidant status and immune response of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka). **Fish & Shellfish Immunology**, [S. l.], v. 72, p. 143–152, 1 jan. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.10.061>.

CONTRERAS-SILLERO, M. Elena; PACHECO-VEGA, Juan M.; VALDEZ-GONZÁLEZ, Francisco Javier; DE LA PAZ-RODRÍGUEZ, Griselda; CADENA-ROA, Marco A.; BAUTISTA-COVARRUBIAS, Juan C.; GODÍNEZ-SIORDIA, Daniel E. Polyculture of White shrimp (*Penaeus vannamei*) and sea cucumber (*Holothuria inornata*) in a biofloc system. **Aquaculture Research**, [S. l.], v. 51, n. 11, p. 4410–4420, 2020. <https://doi.org/10.1111/are.14782>.

CRAB, Roselien; DEFOIRDT, Tom; BOSSIER, Peter; VERSTRAETE, Willy. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. **Aquaculture**, [S. l.], v. 356–357, p. 351–356, 1 ago. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.046>.

DAWOOD, Mahmoud A.O.; KOSHIO, Shunsuke; ESTEBAN, Maria Ángeles. Beneficial roles of feed additives as immunostimulants in aquaculture: a review.

Reviews in Aquaculture, [S. l.], v. 10, n. 4, p. 950–974, 2018. <https://doi.org/10.1111/raq.12209>.

EBELING, James M.; TIMMONS, Michael B.; BISOGNI, J. J. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. **Aquaculture**, [S. l.], v. 257, n. 1, p. 346–358, 30 jun. 2006. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.019>.

FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2024**. Rome, Italy: FAO, 7 jun. 2024. 264 p. (The State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA), 2024). DOI: 10.4060/cd0683en. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd0683en>. Acesso em: 17 nov. 2025.

GROSSO, Luca; RAKAJ, Arnold; FIANCHINI, Alessandra; MORRONI, Lorenzo; CATAUDELLA, Stefano; SCARDI, Michele. Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) system combining the sea urchin *Paracentrotus lividus*, as primary species, and the sea cucumber *Holothuria tubulosa* as extractive species. **Aquaculture**, [S. l.], v. 534, p. 736268, 15 mar. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736268>.

GUPTA, Shruti; MAKRIDIS, Pavlos; HENRY, Ingrid; VELLE-GEORGE, Michael; RIBICIC, Deni; BHATNAGAR, Amit; SKALSKA-TUOMI, Kinga; DANESHVAR, Ehsan; CIANI, Elia; PERSSON, David; NETZER, Roman. Recent Developments in Recirculating Aquaculture Systems: A Review. **Aquaculture Research**, [S. l.], v. 2024, n. 1, p. 6096671, 2024. <https://doi.org/10.1155/are/6096671>.

HAMMOND, Alison R.; PURCELL, Steven W. Limited long-term movement and slow growth of the sea cucumber *Pearsonothuria graeffei*. **Marine Ecology Progress Series**, [S. l.], v. 704, p. 1–14, 26 jan. 2023. <https://doi.org/10.3354/meps14240>.

HEGDE, Avani; KABRA, Suhani; BASAWA, Renuka Manjunath; KHILE, Dnyanada Anil; ABBU, Rahil Ummer Faruk; THOMAS, Naomi Ann; MANICKAM, Nava Bharati; RAVAL, Ritu. Bacterial diseases in marine fish species: current trends and future prospects in disease management. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, [S. l.], v. 39, n. 11, p. 317, 25 set. 2023. <https://doi.org/10.1007/s11274-023-03755-5>.

HUSSAIN, Aya S.; MOHAMMAD, Deyaaedin A.; SALLAM, Wafaa S.; SHOUKRY, Nahla M.; DAVIS, D. Allen. Effects of culturing the Pacific white shrimp *Penaeus vannamei* in “biofloc” vs “synbiotic” systems on the growth and immune system. **Aquaculture**, [S. l.], v. 542, p. 736905, 15 set. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736905>.

JOLY, François-Xavier; COQ, Sylvain; COULIS, Mathieu; DAVID, Jean-François; HÄTTENSCHWILER, Stephan; MUELLER, Carsten W.; PRATER, Isabel; SUBKE, Jens-Arne. Detritivore conversion of litter into faeces accelerates organic matter turnover. **Communications Biology**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 660, 11 nov. 2020. <https://doi.org/10.1038/s42003-020-01392-4>.

KHANJANI, Mohammad Hossein; SHARIFINIA, Moslem; EMERENCIANO, Maurício Gustavo Coelho. Biofloc Technology (BFT) in Aquaculture: What Goes Right, What Goes Wrong? A Scientific-Based Snapshot. **Aquaculture Nutrition**, [S. l.], v. 2024, n. 1, p. 7496572, 2024. <https://doi.org/10.1155/2024/7496572>.

KHANJANI, Mohammad Hossein; ZAHEDI, Saeed; MOHAMMADI, Alireza. Integrated multitrophic aquaculture (IMTA) as an environmentally friendly system for sustainable aquaculture: functionality, species, and application of biofloc technology (BFT). **Environmental Science and Pollution Research**, [S. l.], v. 29, n. 45, p. 67513–67531, 1 set. 2022. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22371-8>.

LI, Penglong; HAN, Haibin; ZHANG, Shengmao; FANG, Hui; FAN, Wei; ZHAO, Feng; XU, Chaofei. Reviews on the development of digital intelligent fisheries technology in aquaculture. **Aquaculture International**, [S. l.], v. 33, n. 3, p. 191, 18 fev. 2025. <https://doi.org/10.1007/s10499-025-01870-8>.

LO, Linus Shing Him; LIU, Xuan; LIU, Hongbin; SHAO, Minhua; QIAN, Pei-Yuan; CHENG, Jinping. Aquaculture bacterial pathogen database: Pathogen monitoring and screening in coastal waters using environmental DNA. **Water Research X**, [S. l.], v. 20, p. 100194, 1 set. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2023.100194>.

LO, Linus Shing Him; XU, Zhimeng; LEE, Sangwook Scott; LAU, Wing Keung; QIU, Jian-Wen; LIU, Hongbin; QIAN, Pei-Yuan; CHENG, Jinping. How elevated nitrogen load affects bacterial community structure and nitrogen cycling services in coastal water. **Frontiers in Microbiology**, [S. l.], v. 13, 22 dez. 2022. DOI: 10.3389/fmicb.2022.1062029. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2022.1062029/full>. Acesso em: 17 nov. 2025.

MACTAVISH, Thomas; STENTON-DOZEY, Jeanie; VOPEL, Kay; SAVAGE, Candida. Deposit-Feeding Sea Cucumbers Enhance Mineralization and Nutrient Cycling in Organically-Enriched Coastal Sediments. **PLOS ONE**, [S. l.], v. 7, n. 11, p. e50031, 27 nov. 2012. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0050031>.

MARTINÉS-CÓRDOVA, Luis R; EMERENCIANO, Mauricio; MIRANDA-BAEZA, Anselmo; MARTINÉZ-PORCHAS, Marcel. Microbial-based systems for aquaculture of fish and shrimp: an updated review. **Reviews in Aquaculture**, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 131–148, jun. 2015. <https://doi.org/10.1111/raq.12058>.

MINAZ, Mert; YAZICI, İrfan Selçuk; SEVGILI, Hüseyin; AYDIN, İlhan. Biofloc technology in aquaculture: Advantages and disadvantages from social and applicability perspectives – a review. **Annals of Animal Science**, [S. l.], v. 24, n. 2, p. 307–319, 1 abr. 2024. <https://doi.org/10.2478/aoas-2023-0043>.

NAJDEGERAMI, Ebrahim Hossein; MANAFFAR, Ramin. Using a combination of phospholipid fatty acids profiles and DNA-based sequencing analyses to detect shifts in the biofloc microbial community in different carbon sources and carbon/nitrogen ratios. **Veterinary Research Forum**, [S. l.], v. 15, n. 8, p. 425–434, 1 ago. 2024. <https://doi.org/10.30466/vrf.2024.2015189.4060>.

PASQUINI, Viviana; ADDIS, Pierantonio; GIGLIOLI, Ambra Angelica; MOCCIA, Davide; PUSCEDDU, Antonio. Outcomes of feeding activity of the sea cucumber *Holothuria tubulosa* on quantity, biochemical composition, and nutritional quality of sedimentary organic matter. **Frontiers in Marine Science**, [S. l.], v. 9, 26 jan. 2023. DOI: 10.3389/fmars.2022.1010014. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2022.1010014/full>. Acesso em: 18 nov. 2025.

PIERRAT, Joséphine; BÉDIER, Alexandre; EECKHAUT, Igor; MAGALON, Hélène; FROUIN, Patrick. Sophistication in a seemingly simple creature: a review of wild holothurian nutrition in marine ecosystems. **Biological Reviews**, [S. l.], v. 97, n. 1, p. 273–298, 2022. <https://doi.org/10.1111/brv.12799>.

PURCELL, Steven W.; SHEA, Stanley K. H.; GRAY, Benjamin C. T. Decadal changes in value of dried sea cucumbers (bêche-de-mer) in Hong Kong markets. **Marine Policy**, [S. l.], v. 171, p. 106450, 1 jan. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2024.106450>.

RUPP, Guilherme S.; DA COSTA, Robson C.; MARENZI, Adriano W.; MANZONI, Gilberto C.; DA SILVA, Idalício S. Reprodução e larvicultura de *Holothuria grisea* Selenka, 1867 (Holothuroidea: Aspidochirotida) em laboratório: resultados iniciais no sul do Brasil. **AquaTechnica: Revista Iberoamericana de Acuicultura.**, [S. l.], v. 3, n. 3, p. 133, 8 nov. 2021. <https://doi.org/10.33936/at.v3i3.4147>.

SAID, Mohamed M.; EL-BARBARY, Y. A.; AHMED, O. M. Assessment of Performance, Microbial Community, Bacterial Food Quality, and Gene Expression of Whiteleg Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Reared under Different Density Biofloc Systems. **Aquaculture Nutrition**, [S. l.], v. 2022, n. 1, p. 3499061, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/3499061>.

SCHVEITZER, Rodrigo; BACCARAT, Roberto Fábio Conway; GAONA, Carlos Augusto Prata; WASIELESKY JR, Wilson; ARANTES, Rafael. Concentration of suspended solids in superintensive culture of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* with biofloc technology (BFT): A review. **Reviews in Aquaculture**, [S. l.], v. 16, n. 2, p. 785–795, 2024. <https://doi.org/10.1111/raq.12867>.

SCHVEITZER, Rodrigo. Efeito dos sólidos suspensos totais na água e dos substratos artificiais sobre o cultivo superintensivo de *Penaeus vannamei* com bioflocos. 2012. 134 f. Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

TEBBETT, Sterling B.; GOATLEY, Christopher H. R.; BELLWOOD, David R. The Effects of Algal Turf Sediments and Organic Loads on Feeding by Coral Reef Surgeonfishes. **PLOS ONE**, [S. l.], v. 12, n. 1, p. e0169479, 3 jan. 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169479>.

UPLING, Jumah Yashier. A review on waste absorption efficiency of different extractive integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) species: Implications in coastal and offshore aquaculture waste management. **GSC Biological and Pharmaceutical Sciences**, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 257–264, 2020. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2020.11.2.0141>.

WEIGEL, Brooke L. Sea Cucumber Intestinal Regeneration Reveals Deterministic Assembly of the Gut Microbiome. **Applied and Environmental Microbiology**, [S. l.], v. 86, n. 14, p. e00489-20, 2 jul. 2020. <https://doi.org/10.1128/AEM.00489-20>.

WU, Jiaqi; XU, Wujie; XU, Yu; SU, Haochang; HU, Xiaojuan; CAO, Yucheng; ZHANG, Jianshe; WEN, Guoliang. Impact of Organic Carbons Addition on the Enrichment Culture of Nitrifying Biofloc from Aquaculture Water: Process, Efficiency, and Microbial Community. **Microorganisms**, [S. l.], v. 12, n. 4, p. 703, abr. 2024. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12040703>.

XIAO, Haoran; LI, Shufeng; WANG, Zitong; TIAN, Ye; ZUO, Qiwei; TIAN, Fenglin; WANG, Yongjie; ZHAO, Chong; DING, Jun. The Effectiveness of Biofloc Technology and Its Application Prospects in Sea Cucumber (*Apostichopus japonicus*) Aquaculture: A Review. **Fishes**, [S. l.], v. 9, n. 11, p. 457, 10 nov. 2024. <https://doi.org/10.3390/fishes9110457>.

XU, Wujie; WEN, Guoliang; SU, Haochang; XU, Yu; HU, Xiaojuan; CAO, Yucheng. Effect of Input C/N Ratio on Bacterial Community of Water Biofloc and Shrimp Gut in a Commercial Zero-Exchange System with Intensive Production of *Penaeus vannamei*. **Microorganisms**, [S. l.], v. 10, n. 5, p. 1060, maio 2022. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10051060>.

YAMAZAKI, Yohei; SAKAI, Yuichi; YU, Juanwen; MINO, Sayaka; SAWABE, Tomoo. Tracking the dynamics of individual gut microbiome of sea cucumber *Apostichopus japonicus* during gut regeneration. **PeerJ**, [S. l.], v. 8, p. e10260, 1 dez. 2020. <https://doi.org/10.7717/peerj.10260>.

ZAMORA, Leonardo N.; JEFFS, Andrew G. Feeding, metabolism and growth in response to temperature in juveniles of the Australasian sea cucumber, *Australostichopus mollis*. **Aquaculture**, [S. l.], v. 358–359, p. 92–97, 15 ago. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.06.024>.