

Desempenho de curto prazo de *Ulva fasciata* produzida em diferentes densidades em Aquicultura multitrófica integrada

Short-term responses of *Ulva fasciata* produced at different densities in multi-trophic aquaculture

João Pedro Marvila Padilha Pitta^{1*}, Marcelo Duarte Pontes^{2,3}, Beatriz Castelar³, Cláudia Hamacher¹

RESUMO

Ulva fasciata é uma macroalga verde de curto ciclo de produção amplamente indicada para aquicultura multi-trófica integrada (AMTI). O presente estudo avaliou o desempenho em curto prazo (7 dias) em seis diferentes densidades de estocagem (de 1 a 6 kg m⁻³; n=4). Foram determinadas a produção em biomassa fresca (PBM), a taxa de crescimento diário (TCD), as concentrações de carbono, nitrogênio e fósforo e o rendimento de ulvana (RU). Os percentuais em peso seco de C foram de 29,58 ± 0,21 a 31,81 ± 2,08%, de N foram de 5,16 ± 0,53 a 6,01 ± 0,57% e de RU foram de 14,25 ± 2,94 a 17,83 ± 4,03%, mas não diferiram entre as densidades testadas. Foram verificadas diferenças para a concentração de P (0,110 ± 0,010 a 0,137 ± 0,010%), para a PBM (62,05 ± 15,52 a 212,05 ± 26,54 g m⁻³ dia⁻¹) e para TCD (3,21 ± 0,37 a 5,29 ± 1,15 % dia⁻¹), com maiores percentuais de P e TCD associadas às menores densidades. As maiores densidades de estocagem se mostraram economicamente mais vantajosas no cultivo, fornecendo maior rendimento da *Ulva fasciata* por unidade de produção e maior capacidade de retenção dos nutrientes.

Palavras-chave: Sistema de recirculação de água; Ulvana; Aquicultura sustentável

ABSTRACT

Ulva fasciata is a short production cycle green macroalgae widely indicated for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA). The present study evaluated the short-term performance (7 days) in six different stocking densities (from 1 to 6 kg m⁻³; n=4). Fresh biomass production (PBM), daily growth rate (TCD), carbon, nitrogen and phosphorus concentrations and ulvan yield (RU) were determined. The percentages in dry weight of C were from 29.58 ± 0.21 to 31.81 ± 2.08%, of N were from 5.16 ± 0.53 to 6.01 ± 0.57% and of RU were from 14.25 ± 2.94 to 17.83 ± 4.03%, but did not differ between the densities tested. Differences were found for P concentration (0.110 ± 0.010 to 0.137 ± 0.010%), for PBM (62.05 ± 15.52 to 212.05 ± 26.54 g m⁻³ day⁻¹) and for TCD (3.21 ± 0.37 to 5.29 ± 1.15 % day⁻¹), with higher percentages of P and TCD associated with lower densities. The higher stocking densities proved to be economically more advantageous in the cultivation, providing greater yield of *Ulva fasciata* per unit of production and greater capacity to retain the nutrients.

Keywords: Water recirculation system; Ulvana; Sustainable aquaculture

¹ Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

*E-mail: jpedromarvila@gmail.com

² Fundação instituto de pesca do estado do Rio de Janeiro

³ d'Alga Aquicultura Urbana

INTRODUÇÃO

A aquicultura vem exercendo, exponencialmente nas últimas décadas, enorme influência como provedora de alimento e, em 2018, atingiu a produção recorde de 114,5 milhões de toneladas de peso vivo (FAO, 2020). Desse total, a aquicultura de algas marinhas é responsável pela produção de 32,4 milhões de toneladas, tendo triplicado a produção desde os anos 2000, sendo destinadas tanto a extração de compostos, como a carragena e o agar, quanto para alimentação humana (FAO, 2020). O cultivo de macroalgas no mundo é fortemente voltado para a produção de macroalgas marrons, como a *Laminaria japonica* e a *Eucheuma spp.* e vermelhas, como *Gracilaria spp.* e *Kappaphycus alvarezii*, sendo o leste asiático responsável por quase a totalidade da produção mundial (FAO 2020). O Brasil, nesse contexto, produziu em 2016, o montante de 730 toneladas de macroalgas, sendo majoritariamente algas vermelhas, como *Kappaphycus alvarezii* e *Gracilaria spp.* (FAO 2018), tendo potencial para uma maior exploração dessa atividade.

No tocante ao atual estado da arte do cultivo de macroalgas marinhas, sistemas de aquicultura multitrófica integrada (AMTI) tem ganhado espaço no mercado de produção mundial e, quando o cultivo se dá no continente, especialmente os que se utilizam de sistemas de recirculação de água (SRA). Em um sistema AMTI de cultivo são utilizadas múltiplas espécies de diferentes níveis tróficos para se reduzir desperdícios e custos, sendo possível maximizar sua produtividade total, em peso e valor, com respeito ao aporte de alimento e descarte de materiais excedentes (Troell et al. 2009). Somado a isso, a utilização de SRA diminui a necessidade de corpos hídricos para suprimento de água e para o descarte de efluentes, cujo volume se torna bem reduzido frente ao reaproveitamento de água que esses sistemas proporcionam (Martins et al. 2010). Logo, esses sistemas, quando bem balanceados, podem reproduzir em pequena escala os ciclos de nutrientes encontrados nos ambientes naturais, sendo um importante meio para o desenvolvimento de uma aquicultura sustentável.

Nesse cenário, as macroalgas marinhas estão entre os organismos mais amplamente estudados como nível trófico primário incorporado a esses sistemas, com aplicação prática e viável (Chopin et al. 2001; Sanz-Lazaro et al. 2018). Quando cultivadas em AMTI em RAS, as macroalgas atuam como biofiltro, reaproveitando nutrientes que poderiam se acumular a níveis tóxicos, beneficiando assim esses sistemas (Ryther et al. 1975). Portanto, os biofiltros tornam o cultivo mais sustentável, reduzindo

o uso de água, diminuindo os impactos ambientais negativos e mantendo as condições de qualidade da água estável e segura nos tanques de cultivo (Schuenhoff et al. 2003).

Além disso, as algas marinhas assimilam carbono na forma de CO₂ dissolvido na água do mar, sendo esse composto responsável direto pelos mecanismos de mudança climáticas globais nos últimos 100 anos. Logo, exercem importante papel como organismo chave na Blue economy, por exemplo, servindo como crédito de carbono e promovendo uma possível compensação a produção de alimentos, pelo menos a nível regional (Froehlich et al. 2019).

Macroalgas verdes do gênero *Ulva*, vulgo alface do mar, possuem grande potencial tanto para o cultivo no mar quanto em tanques, sendo uma espécie cosmopolita, de rápido crescimento, ciclo de vida curto (escala de dias), tolerante a condições ambientais extremas (Neori et al. 1991; Troell et al. 2009). Esse gênero é utilizado como alimento em diversas culturas e é responsável pela produção de ulvana, importante polissacarídeo com aplicações farmacológicas, cosméticas e agrícolas (Paulert et al. 2009; Shao et al. 2013, 2014; Faggio et al. 2015; Rizk et al. 2016).

Nesse contexto, o melhor entendimento de uma densidade ideal para o cultivo de macroalgas do gênero *Ulva* em sistemas comerciais de AMTI, visando potencializar sua produtividade (qualidade e quantidade) assim como seu papel biofiltrador, torna-se ferramenta fundamental para cultivador que busca iniciar e/ou aprimorar suas técnicas de cultivo.

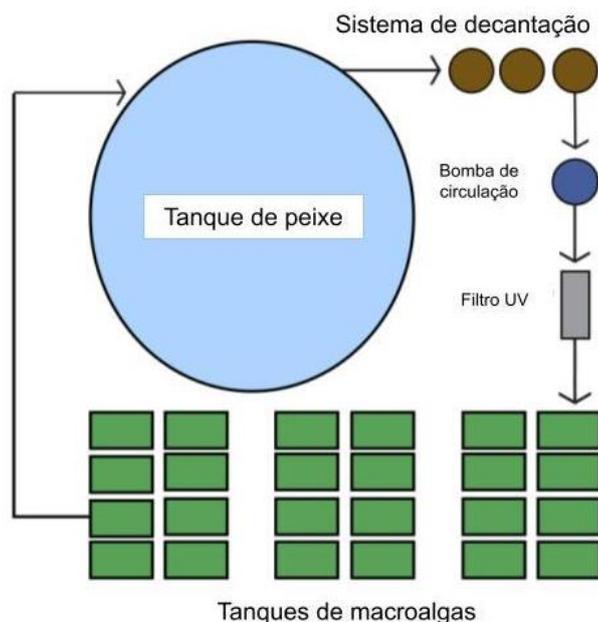
Logo, o objetivo do presente trabalho é avaliar a produção de biomassa e o crescimento da espécie *Ulva fasciata* em um sistema comercial de AMTI em SRA, com foco na determinação da densidade de estocagem que maximize a produção e sua influência na composição química da alga em relação os percentuais de carbono, nitrogênio, fósforo e ulvana presentes na biomassa e, por fim, avaliar sua atuação como biofiltro.

MATERIAL E MÉTODOS

O sistema de cultivo estudado possui 40 m³ de volume total de água e é composto por um tanque circular com 6,4 m de diâmetro e 27 m³ de capacidade. Neste tanque foram cultivados tilápias, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758), com uma biomassa total estimada de 20 kg. Os peixes foram alimentados diariamente com ração com 32 % PB (proteína bruta). A água do fundo desse tanque é drenada por gravidade para um tanque

de decantação de 2 m³, de onde é bombeada (bomba 1/4cv, Syllent), para o sistema de filtros UV (4 filtros de 30 W cada, Cleanjump) e então distribuída por derivação para a bateria de tanques de cultivo de macroalgas (Figura 1). A salinização do tanque foi feita com a adição de sal marinho integral à água da rede de abastecimento público, para a salinidade de 36 (PSU).

Figura 1 - Representação esquemática do sistema AMTI em SRA



Fonte: Pitta et al. (2022)

Os tanques de cultivo de macroalgas (unidades experimentais - UEs) tinham abastecimento individual, com vazão de 1,33 L.min⁻¹, regulada com o auxílio de gotejadores e com a taxa de renovação de água de 100% h⁻¹. O sistema de cultivo possui um sistema de aeração formado por um soprador de ar central (54 m³ h⁻¹, Resun), e distribuído para as UEs com mangueiras microperfuradas (60 cm). Os tanques possuem 0,08 m³ de capacidade e 0,45 m² de área superficial. O efluente das UEs é drenado por gravidade e retorna para os tanques de cultivo de peixes. A temperatura e a irradiância foram monitoradas a cada hora com auxílio de data loggers.

As macroalgas foram cultivadas em 24 UEs, sendo a biomassa da macroalga *Ulva fasciata* distribuída em delineamento inteiramente aleatório em 6 densidades de estocagem diferentes (1, 2, 3, 4, 5 e 6 kg m⁻³) com 4 réplicas de cada tratamento.

Após sete dias de cultivo toda a biomassa de cada UE foi coletada, drenada e pesada. A taxa de crescimento diário (TCD) e a produção de biomassa (PBM) foram determinadas de acordo com as fórmulas de Castelar et al. (2014):

$$\text{TCD (\% dia}^{-1}\text{)} = \left[\left(\frac{M_f}{M_i} \right)^{\frac{1}{t}} - 1 \right] \times 100$$

$$\text{PBM (g m}^{-3}\text{ dia}^{-1}\text{)} = \frac{(M_f - M_i)}{(t \times V)}$$

Onde, M_f e M_i são a biomassa úmida final e inicial, respectivamente, t é tempo de cultivo em dias e V o volume da unidade experimental em m³.

Uma fração das amostras obtidas foi seca em estufa (60 ± 2 °C) por 48h até alcançar massa constante. Uma vez seca, foram pesados cerca de 1 a 2 mg de cada amostra para análise em um autoanalisador de carbono e nitrogênio CHNS (Flash 2000, Thermo Scientific) para determinação dos valores de nitrogênio total (NT) e carbono total (CT).

Para a análise de fósforo total (PT) das amostras de algas, foram retiradas subamostras de aproximadamente 250 mg, que foram submetidas a solubilização nítrico-perclórica e posterior análise colorimétrica com amarelo de vanadato de acordo com os métodos de análise dos tecidos vegetais utilizado pela Embrapa Solos (2000). A leitura da absorvância da solução resultante foi feita em 420 nm de comprimento de onda (espectrofotômetro modelo U-2900, Hitachi).

A partir dos valores de nitrogênio (NT), carbono (CT) e fósforo (PT) da macroalga e considerando a massa seca da PBM, foram calculados os índices de retenção de nitrogênio (IRN), carbono (IRC) e fósforo (IRP) de cada UE através das fórmulas:

$$\text{IRN (g N m}^{-3}\text{ dia}^{-1}\text{)} = \text{PBM} \times \text{NT}$$

$$\text{IRC (g C m}^{-3}\text{ dia}^{-1}\text{)} = \text{PBM} \times \text{CT}$$

$$\text{IRP (g F m}^{-3}\text{ dia}^{-1}\text{)} = \text{PBM} \times \text{PT}$$

A ulvana foi extraída utilizando o método descrito por Paulert et al. (2009), com modificações feitas por (Reis et al. 2018). Foram utilizadas as amostras de alga previamente secas em estufa. Os talos foram macerados por 3 minutos para a obtenção da farinha de alga bruta. Essa farinha foi reidratada na proporção de 0,5 g de biomassa seca para 50 mL de água destilada e autoclavada durante 40 minutos a 120°C (A75, Bio Eng). A suspensão aquosa foi então centrifugada (3500 g) durante 5 minutos (5804 R,

Eppendorf); os polissacarídeos liberados no sobrenadante foram precipitados com três volumes de etanol (98° GL) e mantidos à temperatura de -20°C por 48h antes de serem re-centrifugados durante 5 min. O material peletizado obtido foi seco (60 ± 2 ° C) até obter massa constante.

O rendimento de ulvana foi estimado utilizando a seguinte fórmula de Castelar et al. (2014):

$$RU (\%) = \left(\frac{M_f}{M_i} \right) \times 100$$

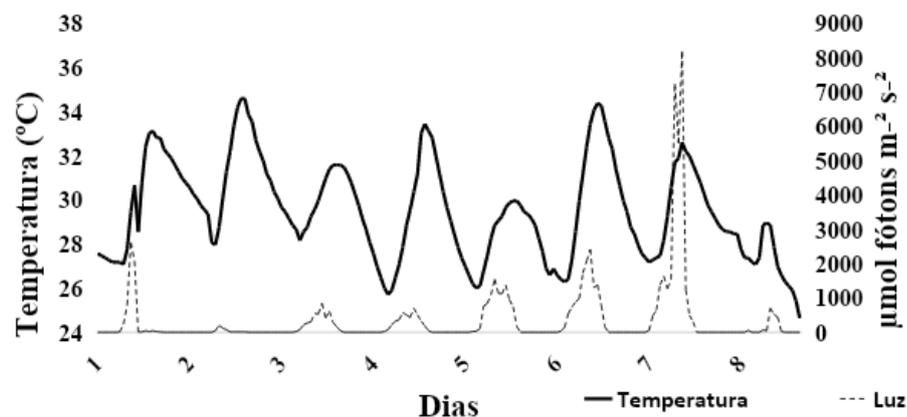
Onde, M_i é massa seca inicial extraída e M_f é a massa seca final da alga utilizada na extração.

Os dados foram testados quanto à normalidade (teste de Shapiro–Wilk) e à homogeneidade de variâncias (teste de Levene) e transformados em $\log(x)+1$ quando necessário. Em seguida, foram realizadas análises de variâncias (ANOVA) seguidas de teste de Fisher, com auxílio do software Statistica 12 (Statsoft), a fim de identificar as significâncias ($p \leq 0,05$) entre as densidades testadas para cada uma das variáveis.

RESULTADOS

Os data loggers registraram uma variação de temperatura de 24,6 a 34,6 °C nas UEs ao longo da semana do experimento, com uma máxima incidência de luz de 8178 $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-2}$ ocorrida no último dia de experimento, conforme pode ser visto na figura 2 .

Figura 2 - Variação de temperatura e intensidade luminosa durante a realização do experimento.



Os resultados de produção de biomassa da *Ulva fasciata* cultivada nas 24 UEs nas 6 diferentes densidades (1 a 6 kg m⁻³), assim como a taxa de crescimento diário, porcentagens de nitrogênio, carbono, fósforo e ulvana presente na composição da alga e seus respectivos índices de retenção estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores médios e desvios padrão obtidos após sete dias de experimento de porcentagens de nitrogênio (N), carbono (Corg) e fósforo (P) e seus índices de retenção (IRN, IRC e IRP, respectivamente), assim como para a porcentagem de ulvana (Ulvana), taxa de crescimento diário (TCD) e produção de biomassa (PBM).

Densidade (kg m ⁻³)	N (%)	Corg (%)	P (%)	IRN (g N m ⁻³ dia ⁻¹)	IRC (g C m ⁻³ dia ⁻¹)	IRP (g P m ⁻³ dia ⁻¹)	TCD (% dia ⁻¹)	PBM (g m ⁻³ dia ⁻¹)	Ulvana (%)
1	5,49 ± 0,30	29,58 ± 0,21	0,18 ± 0,01 ^a	0,42 ± 0,09	2,25 ± 0,48	0,01 ± 0,00	5,29 ± 1,15 ^a	62,05 ± 15,52 ^a	17,83 ± 4,03
2	5,17 ± 0,47	30,22 ± 1,59	0,18 ± 0,01 ^a	0,62 ± 0,16	4,01 ± 1,17	0,02 ± 0,00	4,60 ± 1,17 ^{ab}	105,80 ± 29,82 ^{ab}	16,63 ± 1,92
3	5,16 ± 0,53	30,96 ± 2,03	0,12 ± 0,01 ^{ab}	0,77 ± 0,28	4,60 ± 1,51	0,02 ± 0,00	3,53 ± 1,25 ^b	117,86 ± 45,34 ^{ab}	16,94 ± 1,72
4	6,01 ± 0,57	31,81 ± 2,08	0,11 ± 0,01 ^b	1,14 ± 0,18	6,03 ± 0,86	0,02 ± 0,00	3,35 ± 0,43 ^b	148,21 ± 20,67 ^{bc}	17,29 ± 1,81
5	5,87 ± 0,51	30,73 ± 0,81	0,11 ± 0,01 ^b	1,35 ± 0,39	7,09 ± 1,95	0,03 ± 0,01	3,34 ± 0,96 ^b	184,82 ± 59,07 ^{cd}	15,95 ± 1,93
6	5,62 ± 0,24	30,01 ± 1,12	0,11 ± 0,01 ^b	1,57 ± 0,26	8,36 ± 1,37	0,03 ± 0,01	3,21 ± 0,37 ^b	212,05 ± 26,54 ^d	14,25 ± 2,94

Letras minúscula sobrescritas apontam as diferenças significativas entre as densidades.

Fonte: Pitta et al. (2022)

A distribuição dos dados do experimento com diferentes densidades de cultivo da alga *Ulva fasciata* foram normais e homogêneos quanto a sua variância, à exceção de normalidade para as porcentagens de N e C, e homogeneidade de variância para o IRN, que tiveram que ser parametrizados.

A distribuição da biomassa final das UEs segue a biomassa inicialmente utilizada para o experimento. Por exemplo, o o tratamento D1, de menor biomassa inicial (1 kg m⁻³

³), apresentou o menor valor final de biomassa, igual a $34,75 \pm 8,69$ g, enquanto o tratamento D6, de maior biomassa inicial (6 kg m^{-3}), apresentou uma biomassa de $118,75 \pm 17,96$ g após uma semana de experimento. Apesar do maior valor final de biomassa nas UEs de maiores densidades, a sua porcentagem de crescimento reflete um padrão oposto, com as maiores médias percentuais de crescimento determinadas nas UEs de menores densidades. Dessa forma, no tratamento D1 houve o maior crescimento percentual da biomassa da *Ulva*, igual a $43,44 \pm 0,11$ %, em relação a sua biomassa inicial.

A TCD foi maior nos tratamentos com menores densidades de algas, D1 e D2, igual a $5,29 \pm 1,15$ e $4,60 \pm 1,17$ %, respectivamente. Entretanto, as maiores PBM, que leva em consideração o volume de água do tanque onde as algas foram cultivadas, foram determinadas nos tratamentos com maiores às densidades, D5 e D6, com valores de $184,82 \pm 59,07$ e $212,05 \pm 26,54 \text{ g m}^{-3} \text{ dia}^{-3}$ respectivamente, apontando uma distribuição contrária à TCD. As TCDs da *Ulva fasciata* durante uma semana de cultivo nas UEs das densidades de cultivo empregadas foram significativamente diferentes entre si ($F = 3,13$; $p = 0,03$). As produções de biomassa úmida foram estatisticamente diferentes entre as densidades de cultivo ($F = 9,21$; $p = 0,00$).

Os percentuais de nitrogênio e carbono na biomassa foram estatisticamente iguais em todas as densidades estudadas ($F = 2,28$; $p = 0,09$ e $F = 1,15$; $p = 0,37$, respectivamente). Os percentuais médios de nitrogênio variaram entre $5,16 \pm 0,53$ %, em D3, a $6,01 \pm 0,57$ %, em D4. Também para o carbono, foram determinados os maiores percentuais em D4, valor igual a $31,81 \pm 2,08$ % e, em D1, os menores $29,58 \pm 0,214$ %.

Nas menores densidades de cultivo foi observada maior porcentagem de fósforo, com valores máximos em D1 e D2, respectivamente iguais a $0,137 \pm 0,010$ % e $0,137 \pm 0,007$ %. O teor fósforo presente na biomassa das macroalgas foi significativamente diferente entre os tratamentos de diferentes densidades ($F = 9,38$; $p = 0,00$). É possível notar uma progressiva diminuição do teor de fósforo de acordo com o aumento da densidade de *Ulva fasciata* nas UEs.

As UEs com maiores densidades apresentaram maiores IRC, IRN e IRF devido à maior produção de biomassa. Todos esses índices apresentaram diferenças significativas entre as densidades ($F = 11,38$; $p = 0,00$ para o IRC; $F = 6,97$; $p = 0,00$, para o IRF; e $F = 13,79$; $p = 0,00$ para o IRN), apresentando uma tendência de aumento gradativo com o aumento das densidades utilizadas no experimento de cultivo.

Os índices de retenção dos nutrientes dependem da biomassa inicial dos tanques, conforme comprovado pela regressão estatisticamente significativa, com coeficientes de determinação muito elevados, o que demonstra que não existiu limitação de nutrientes no experimento, e que a quantidade retida desses elementos na biomassa é fundamentalmente dependente da biomassa inicial de cada unidade experimental em questão.

O percentual de ulvana variou de 14,26% em D6 a 17,83% da biomassa total seca em D1 e não há diferença da produção desse composto segundo as densidades estudadas de biomassa inicial ($F = 0,97$; $p = 0,46$).

DISCUSSÃO

Uma possível diferença observada no teor de nitrogênio entre os blocos de tratamento de menores densidades (D1 a D3) e os de maiores densidades (D4 a D6) poderia vir a ser notada com uma maior duração do experimento, como observado por Lapointe & Tenore (1981). O nitrogênio é um macronutriente limitante, relacionado com a fotossíntese e o crescimento da alga, sendo importante componente estrutural da clorofila, além de enzimas, proteínas e está envolvido em diversos processos metabólicos para síntese e transferência de energia (Barsanti & Gualtieri 2005). Mesmo com uma maior competição por luz nas UEs de cultivo de maior densidade, não ocorreu uma maior absorção ou redução da presença de nitrogênio para a *Ulva fasciata* produzir biomassa no sistema de cultivo entre as densidades utilizadas, sendo esse um nutriente importante para a constituição de clorofila e maior obtenção de luz. Esse resultado difere do observado por Lapointe & Tenore (1981), onde as maiores densidades apresentaram uma maior presença desse macronutriente.

O maior percentual de fósforo presente na biomassa das densidades D1, D2 e D3 em relação às D4, D5 e D6, deixa evidente que a produção e cultivo da *Ulva fasciata* sob condições de menores densidades propicia uma maior presença desse importante macronutriente na alga. As UEs com menores densidades iniciais se beneficiaram, durante o período do experimento, de melhores condições de luz, ao contrário das maiores densidades, onde havia competição por luz. Entretanto, vale lembrar que o mesmo não foi observado para a porcentagem de nitrogênio. Uma maior presença de fósforo na composição estrutural da *Ulva fasciata* cultivada em menores densidades, com maior

disponibilidade de luz, parece evidenciar uma escolha de elementos para o seu crescimento mais dependentemente limitada por esse importante macronutriente.

Assim, as UE'S com menores densidades da macroalga e, portanto, com mais disponibilidade de luz, não necessitaram de uma quantidade de nitrogênio e, conseqüentemente, clorofila, superior às presentes nas maiores densidades, encontrando por sua vez, em condições de uma maior absorção de fósforo, uma provável mais vantajosa síntese de ácidos nucléicos e proteínas ligadas ao aparelho fotossintético (Barsanti & Gualtieri 2005). Isso possivelmente explicaria as maiores taxas de crescimento observadas nas menores densidades cultivadas (D1, D2 e D3), que primordialmente possuem uma maior disponibilidade de luz, e também as maiores porcentagens de fósforo na sua composição, nutriente que promove uma impulsionada rápida no seu crescimento, no período de uma semana, enquanto desenvolve a maturação da alga (Cloern 2001).

Em relação ao carbono, mesmo não sendo observada diferença significativas entre as densidades cultivadas ao longo de uma semana, todas as concentrações obtidas (com variação de 29,58% para D1 à 31,81% para de D4) se aproximarem do valor sugerido por Atkinson & Smith (1983) de 35% para a *Ulva* spp.

No ponto de vista prático, o estudo de alteração na composição química da *Ulva fasciata* em manejo de cultivo em tanques sob diferentes densidades de estocagem tem um viés econômico, pois pode apresentar possíveis meios de cultivo para uma eventual produção de biomassa mais voltada para um enriquecimento de um nutriente específico. O nitrogênio, por exemplo, está intimamente ligado à presença das proteínas na composição da macroalga, sendo um possível atrativo para o mercado, assim como o fósforo vegetal.

O cálculo do índices de retenção de carbono, nitrogênio e fósforo na *Ulva fasciata* é uma ferramenta importante para avaliar a sua capacidade de atuação como biofiltro em sistemas de cultivo multitróficos. Nesse experimento, o próprio adensamento da macroalga é responsável por uma maior capacidade de retenção desses elementos, portanto, até certo ponto, é suficiente apenas um maior adensamento de macroalgas para proporcionar uma maior capacidade de suporte do sistema AMTI em SRA. Ou seja, quantos peixes e, conseqüentemente, seus compostos excretados, podemos utilizar nesse sistema de cultivo, de modo que se encontre um balanço químico entre eles e as algas. É possível que a partir de certo limite, com densidades iniciais maiores que as utilizadas nesse experimento, a retenção de nutrientes venha a ser prejudicada por outros fatores,

em especial o sombreamento, já que haverá uma perda de eficiência fotossintética realizada pelas algas e, por conseguinte, na capacidade de absorção dos elementos.

Isso de fato é um ponto de grande relevância quando tratado sob um aspecto econômico, já que em sistemas de recirculação de água o espaço utilizado é extremamente valioso, assim se torna mais barato um cultivo com uma densidade ótima desta macroalga afim de se evitar possíveis modificações nas estruturas dos tanques do sistema de cultivo para o aumento da efetividade de atuação como biofiltro.

É possível afirmar nesse experimento que o cultivo em densidades de estocagem de 1 à 6 kg m⁻³ no decorrer de uma semana não afeta a produção de ulvana na composição da alga. Os valores determinados em todas as densidades, entre 14,2 e 18,4% do seu peso seco, se situaram dentro da faixa de 8 a 29% do seu peso seco, sugerida por Lahaye & Robic (2007) e de 8 a 36% sugerido por Kidgell et al. (2019), para as espécies do gênero *Ulva*.

Os valores obtidos para a porcentagem de ulvana presente na *Ulva fasciata* foram um pouco superiores à média da espécie sugerida por Kidgell et al. (2019) no seu levantamento bibliográfico (13% de ulvana) e pouco inferiores aos resultados médios obtidos por Castelar et al. (2014) de 20,2%, utilizando o mesmo método de extração de ulvana na *Ulva flexuosa* em tanques de cultivo.

Embora alguns estudos sugiram que a biossíntese de polissacarídeos em algas e plantas pode ser regulada por um determinado comprimento de luz, mesmo que o entendimento de alguns mecanismos da regulação desse processo permaneçam desconhecidos (Kamiya & Saitoh 2002; Kami et al. 2010; Yuan et al. 2015), no presente estudo, entretanto, não foi notada diferença significativa na produção desse polissacarídeo na *Ulva fasciata* sob diferentes densidades de cultivo.

A ulvana é um produto de alto valor comercial por suas diversas aplicações químicas, farmacêuticas, agrícolas e etc. Portanto, uma densidade de estocagem que consiga produzir uma maior quantidade de biomassa final e, conseqüentemente, de ulvana, é de fato mais proveitosa economicamente, como no caso das maiores densidades utilizadas nesse experimento.

As maiores TCDs determinadas nos tanques de cultivo com as menores densidades de *Ulva fasciata* corroboram as observações realizadas por Lapointe e Tenore (1981), Neori et al. (1991) e Al-hafedh et al. (2014), apontando para essa mesma

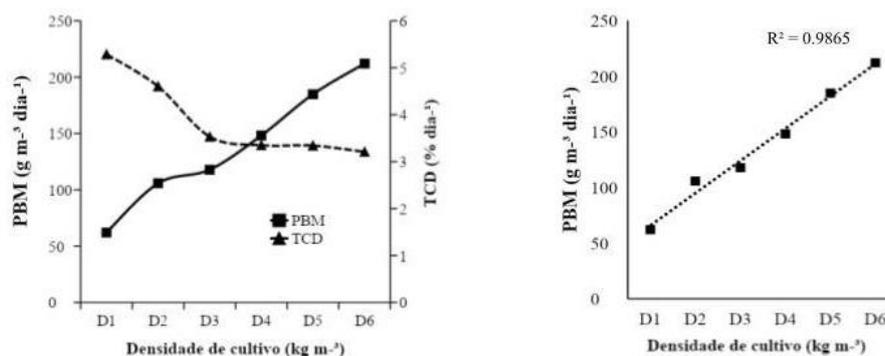
tendência de maiores TCDs de espécies do gênero *Ulva* sob condições de cultivo com menores densidades de estocagem.

Algas de diferentes espécies têm a sua taxa de crescimento e produção de biomassa influenciadas de diferentes formas pela quantidade luz (Minhas et al. 2016). No presente experimento foi observada essa diferença entre diferentes densidades de estocagem de cultivo da mesma alga. A razão mais provável desse resultado é a maior disponibilidade de espaço nos tanques e, conseqüentemente, de luz no cultivo com menores densidades, que resultam em uma menor competição enfrentada pelas algas para a obtenção desse fator chave para o seu pleno crescimento. Os tanques de cultivo utilizados para a produção da *Ulva fasciata* possuem paredes opacas, que implicam em uma incidência de luz somente na superfície da água, logo, menores densidades usufruem de uma maior dispersão superficial enquanto maiores densidades são prejudicadas pelo próprio sombreamento, como também observado por Oca et al. (2019) em seu experimento.

Entretanto, a *Ulva* spp. também se mostra extremamente adaptável a condições de menor exposição de luz, como, por exemplo, em florações algais, onde parte dos organismos é exposta a uma grande intensidade de luz e calor na superfície e, em camadas inferiores, a condições de baixíssima luminosidade (Nakamura et al. 2020).

Para se definir a melhor densidade para o cultivo de *Ulva fasciata* sob as condições do experimento, foi necessária a análise conjunta dos resultados da PBM e da TCD (Figura 3). As duas linhas dos resultados se interceptam na densidade de estocagem de aproximadamente 4 kg m^{-3} , onde os valores de TCD são iguais a $3,35 \pm 0,43 \text{ \% dia}^{-1}$ e de PBM de $148,21 \pm 20,67 \text{ g m}^{-3} \text{ dia}^{-1}$, indicando uma faixa dessas grandezas onde há provavelmente maior benefício biológico para a macroalga se desenvolver.

Figura 3 - A) Produção de biomassa (PBM) e da taxa de crescimento diária (TCD) em função do aumento da densidade de estocagem D1 a D6 (1 a 6 kg m^{-3} , respectivamente). B) Curva de produção de biomassa e seu coeficiente R^2 .



Fonte: Pitta et al. (2022)

Entretanto, para o objetivo deste estudo, as maiores densidades de estocagem ainda possuem uma maior produção de biomassa de forma geral, mesmo possuindo taxas de crescimento diárias menores quando comparadas às densidades inferiores. Portanto, pode se concluir que a densidade de estocagem que maximiza a produção de *Ulva fasciata* nesse cultivo e, portanto, com maior benefício econômico, é a de 6 kg m⁻³, com uma PBM de $212,05 \pm 26,54$ g m⁻³ dia⁻¹ e uma TCD de $3,21 \pm 0,37$ % dia⁻¹. Nota-se também na Figura 3, que a PBM segue um padrão de crescimento linear de acordo com o aumento da densidade de estocagem. Em contraponto, o gráfico da TCD possui dois padrões, uma reta de diminuição dos valores entre as densidades de 1 a 3 kg m⁻³ e um quase patamar, sem grande variação da TCD entre densidades de 4 a 6 kg m⁻³, sendo nítida a diferença do comportamento do crescimento entre esses dois grupos de densidades.

A biomassa inicial presente em cada tanque de cultivo exerceu uma influência maior que a TCD para a PBM, logo, essa última é menos impactada pela competição de luz nos tanques, diferentemente da TCD. É possível que, com a utilização de maiores densidades de estocagem de cultivo nesse experimento, a taxa de crescimento diária viesse a ser significativamente afetada, com redução da capacidade de produção de biomassa das maiores densidades e, conseqüentemente, seu crescimento geral. Novos estudos se fazem necessários nesse âmbito, a fim de se determinar que densidades causariam esse impacto e suas reais conseqüências na produção de biomassa e crescimento. Além disso, é necessário se considerar nesses sistemas todo o custo da construção dos tanques de cultivos de algas, bem como do terreno, onde há que se fazer um estudo de custo-benefício que considere uma otimização da área superficial dos tanques, que favoreça o crescimento das macroalgas em função da maior exposição da luz solar.

CONCLUSÃO

É possível se concluir que as densidades de estocagem de cultivo da *Ulva fasciata* afetam tanto as taxas de crescimento, quanto a composição química da alga, ao menos em relação ao fósforo. De fato, o fósforo foi determinado em maior porcentagem na biomassa dos tanques de menores densidades de cultivo. Nitrogênio e carbono, entretanto, não apresentaram diferenças significativas entre densidades cultivadas e, portanto, não se pode afirmar que haja influência da mesma sobre a porcentagem desses elementos na composição química da macroalga estudada. Também não foi notada influência das diferentes densidades de estocagem em relação à produção de ulvana, importante polissacarídeo na composição química da alga. Os percentuais obtidos de ulvana estavam de acordo com trabalhos pretéritos com a espécie *Ulva fasciata*.

Todavia, foi evidenciado que a TCD, assim como a PBM por unidade de produção, é afetada pelo adensamento de algas utilizadas no cultivo. Menores densidades apresentaram TCDs significativamente superiores em relação às maiores densidades, resultado esse provavelmente devido à maior exposição das algas à luz nesses tanques de cultivo menos adensados. Ainda assim, a PBM nas maiores densidades se provou economicamente melhor devido à geração de uma maior quantidade de biomassa por unidade de produção, bem como melhor rendimento total de produção de ulvana no sistema de cultivo, apesar da densidade de 4 kg m⁻³ ter sido apontada como biologicamente ótima.

Ao se analisar a *Ulva fasciata* sob a perspectiva da atuação como biofiltro, foi evidenciado que a utilização de uma maior densidade de estocagem de cultivo propicia uma maior retenção de fósforo nitrogênio e carbono por volume de biofiltro, demonstrando que as maiores densidades podem exercer um melhor aproveitamento de nutrientes, que seriam descartados ou poderiam vir a ser prejudiciais, quando acumulados, em sistemas de AMTI em RAS comerciais.

Não obstante os avanços apresentados por essa pesquisa, ainda se faz necessário um aprofundamento de estudos, com um maior número de experimentos com diferentes densidades de cultivos para uma melhor compreensão da influência de diferentes densidades de estocagem sobre a composição química da *Ulva fasciata*, assim como na sua produção de biomassa e taxas de crescimento.

Todos os esforços levam a uma maior compreensão dos processos que ocorrem na aquicultura multitrófica integrada em sistemas de recirculação de água, o que irá

permitir o aperfeiçoamento da técnica, com possibilidades de melhoria na sua estruturação, como opacidade e a proporção volume x área dos tanques, assim como o melhor manuseio e tratamento dos efluentes descartados em outros sistemas de cultivo.

REFERÊNCIAS

- AL-HAFEDH, Y. S.; ALAM, A.; BUSCHMANN, A. H. Bioremediation potential, growth and biomass yield of the green seaweed, *Ulva lactuca* in an integrated marine aquaculture system at the Red Sea coast of Saudi Arabia at different stocking densities and effluent flow rates. **Reviews in Aquaculture**, v. 7, n. 3, p. 161-171, 2015.
- ATKINSON, M. J.; SMITH, S. V. C: N: P ratios of benthic marine plants 1. **Limnology and Oceanography**, v. 28, n. 3, p. 568-574, 1983.
- BARSANTI, L.; GUALTIERI, P. **Algae: anatomy, biochemistry, and biotechnology**. CRC press, 2005.
- CARMO C. A. F.; ARAÚJO W. S.; BERNARDI A. D. C.; SALDANHA M. F. C. **Métodos de Análises de Tecidos Vegetais Utilizados na Embrapa Solos**, Embrapa, 2000
- CASTELAR, B.; REIS, R. P.; DOS SANTOS CALHEIROS, A. C. *Ulva lactuca* and *U. flexuosa* (Chlorophyta, Ulvophyceae) cultivation in Brazilian tropical waters: recruitment, growth, and ulvan yield. **Journal of applied phycology**, v. 26, n. 5, p. 1989-1999, 2014.
- CHOPIN T.; BUSCHMANN A. H.; HALLING C. TROELL, M.; KAUTSKY, N.; NEORI, A.; NEEFUS, C. Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: A key toward sustainability. **Journal of Phycology**, v. 37, n. 6, p. 975-986, 2001.
- CLOERN, J. E. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. **Marine ecology progress series**, v. 210, p. 223-253, 2001.
- FAGGIO, C.; MORABITO, M.; MINICANTE, S. A.; PIANO, G. L.; PAGANO, M.; GENOVESE, G. Potential use of polysaccharides from the brown alga *Undaria pinnatifida* as anticoagulants. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 58, p. 798-804, 2015.
- FAO **The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2018
- FAO **The State of World Fisheries and Aquaculture 2020 - Sustainability in action**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2020
- KAMI C.; LORRAIN S.; HORNITSCHKE P.; FANKHAUSER C. Light-regulated plant growth and development. **Current topics in developmental biology**, v. 91, p. 29-66, 2010.
- KAMIYA, A.; SAITOH, T. Blue-light-control of the uptake of amino acids and of ammonia in *Chlorella mutants*. **Physiologia Plantarum**, v. 116, n. 2, p. 248-254, 2002.

- KIDGELL J. T.; MAGNUSSON M.; NYS R.; GLASSON C. R. K. Ulvan: A systematic review of extraction, composition and function. **Algal research**, v. 39, p. 101422, 2019.
- LAHAYE, M.; ROBIC, A. Structure and functional properties of ulvan, a polysaccharide from green seaweeds. **Biomacromolecules**, v. 8, n. 6, p. 1765-1774, 2007.
- LAPOINTE, B. E.; TENORE, K. R. Experimental outdoor studies with *Ulva fasciata* Delile. I. Interaction of light and nitrogen on nutrient uptake, growth, and biochemical composition. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 53, n. 2-3, p. 135-152, 1981.
- MARTINS, C. I. M.; EDING, E. H.; VERDEGEM, M. C.; HEINSBROEK, L. T.; SCHNEIDER, O.; BLANCHETON, J. P.; VERRETH, J. A. J. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. **Aquacultural engineering**, v. 43, n. 3, p. 83-93, 2010.
- MINHAS, A. K.; HODGSON, P.; BARROW, C. J.; ADHOLEYA, A. A review on the assessment of stress conditions for simultaneous production of microalgal lipids and carotenoids. **Frontiers in microbiology**. v. 7, p. 546, 2016.
- NAKAMURA, M.; KUMAGAI, N. H.; TAMAOKI, M.; ARITA, K.; ISHII, Y.; NAKAJIMA, N.; YABE, T. Photosynthesis and growth of *Ulva ohnoi* and *Ulva pertusa* (Ulvophyceae) under high light and high temperature conditions, and implications for green tide in Japan. **Phycological research**, v. 68, n. 2, p. 152-160, 2020.
- NEORI, A.; COHEN, I.; GORDIN, H. *Ulva lactuca* biofilters for marine fishpond effluents. II. Growth rate, yield and C: N ratio. **Botanica Marina**, v. 34, p. 483-489, 1991
- OCA, J.; CREMADES, J.; JIMÉNEZ, P.; PINTADO, J.; MASALÓ, I. Culture of the seaweed *Ulva ohnoi* integrated in a *Solea senegalensis* recirculating system: influence of light and biomass stocking density on macroalgae productivity. **Journal of Applied Phycology**, v. 31, n. 4, p. 2461-2467, 2019.
- PAULERT, R.; TALAMINI, V.; CASSOLATO, J. E. F.; DUARTE, M. E. R.; NOSEDA, M. D.; SMANIA, A.; STADNIK, M. J. Effects of sulfated polysaccharide and alcoholic extracts from green seaweed *Ulva fasciata* on anthracnose severity and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 116, n. 6, p. 263-270, 2009.
- REIS, R. P.; DE CARVALHO JUNIOR, A. A.; FACCHINEI, A. P.; DOS SANTOS CALHEIROS, A. C.; CASTELAR, B. Direct effects of ulvan and a flour produced from the green alga *Ulva fasciata* Delile on the fungus *Stemphylium solani* Weber. **Algal research**, v. 30, p. 23-27, 2018.
- RIZK, M. Z.; ALY, H. F.; MATLOUB, A. A.; The anti-hypercholesterolemic effect of ulvan polysaccharide extracted from the green alga *Ulva fasciata* on aged hypercholesterolemic rats. **Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research**, v. 9, n. 3, p. 165-176, 2016.

RYTHER, J. H.; GOLDMAN, J. C.; GIFFORD, C. E.; HUGUENIN, J. E.; WING, A. S.; CLARNER, J. P.; LAPOINTE, B. E. Physical models of integrated waste recycling-marine polyculture systems. **Aquaculture**, v.5, n.2, p.163-177, 1975

SANZ-LAZARO, C.; FERNANDEZ-GONZALEZ, V.; ARECHAVALA-LOPEZ, P.; IZQUIERDO-GOMEZ, D.; MARTINEZ-GARCIA, E.; SANCHEZ-JEREZ, P. Depth matters for bivalve culture in integrated multitrophic aquaculture (IMTA) and other polyculture strategies under non-eutrophic conditions. **Aquaculture International**, v. 26, n. 5, p. 1161-1170, 2018.

SCHUENHOFF, A.; SHPIGEL, M.; LUPATSCH, I.; ASHKENAZI, A.; MSUYA, F. E.; NEORI, A. A semi-recirculating, integrated system for the culture of fish and seaweed. **Aquaculture**, v. 221, n. 1-4, p. 167-181, 2003.

SHAO P.; CHEN M.; PEI Y.;SUN P. In vitro antioxidant activities of different sulfated polysaccharides from chlorophyten seaweeds *Ulva fasciata*. **International journal of biological macromolecules**, v. 59, p. 295-300, 2013

SHAO, P.; QIN, M.; HAN, L.; SUN, P. Rheology and characteristics of sulfated polysaccharides from chlorophyten seaweeds *Ulva fasciata*. **Carbohydrate polymers**, v. 113, p. 365-372, 2014.

TROELL, M.; JOYCE, A.; CHOPIN, T.; NEORI, A.; BUSCHMANN, A. H.; FANG, J. G. Ecological engineering in aquaculture - Potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. **Aquaculture**, v. 297, n. 1-4, p. 1-9, 2009.

YUAN, M.; JIA, X.; YANG, Y.; DING, C.; DU, L.;YUAN, S.; CHEN, Y. Effect of light on structural properties and antioxidant activities of polysaccharides from soybean sprouts. **Process Biochemistry**, v. 50, n. 7, p. 1152-1157, 2015.

Recebido em: 05/07/2022

Aprovado em: 12/08/2022

Publicado em: 16/08/2022