



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
COORDENADORIA ESPECIAL DE OCEANOGRAFIA
CURSO DE OCEANOGRAFIA

Milena Drehmer Menezes

Algas Biorremediadoras: Avaliação da Eficiência na Remoção de Nutrientes em um sistema tipo *Seeded Algal Turf Scrubber (sATS)*.

Florianópolis

2024

Milena Drehmer Menezes

Algas Biorremediadoras: Avaliação da Eficiência na Remoção de Nutrientes em um sistema tipo *Seeded Algal Turf Scrubber (sATS)*.

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Oceanografia do Centro de Ciências Físicas e Matemáticas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharela em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo de Oliveira Bastos.
Coorientadora: Luana de Azevedo Aimi.

Florianópolis

2024

Menezes, Milena Drehmer

Algas Biorremediadoras: Avaliação da Eficiência na Remoção de Nutrientes em um sistema tipo Seeded Algal Turf Scrubber (sATS). / Milena Drehmer Menezes ; orientador, Eduardo de Oliveira Bastos, coorientadora, Luana de Azevedo Aimi, 2024.

40 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Graduação em Oceanografia, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Oceanografia. 2. Biorremediação. 3. Qualidade da água. I. Bastos, Eduardo de Oliveira . II. Aimi, Luana de Azevedo. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Oceanografia. IV. Título.

Milena Drehmer Menezes

Algas biorremediadoras: Avaliação da Eficiência na Remoção de Nutrientes em um sistema tipo *Seeded Algal Turf Scrubber* (sATS).

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

Local Florianópolis, 20 de junho de 2024.



Coordenação do Curso

Banca examinadora



Prof. Eduardo de Oliveira Bastos, Dr.
Orientador.



Prof. Leonardo Rubi Rörig, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina



Profa. Alessandra Larissa D'Oliveira Fonseca, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 2024

Para os meus avós.

AGRADECIMENTOS

Nem sei por onde ou por quem começar a agradecer. Esse trabalho não é só meu, ele é de todos que me instigaram a pensar e buscar conhecimento, ele é de todos que ajudaram e fizeram tudo acontecer. Sou muito grata a Deus, por ter escrito tão bem a história da minha vida até aqui, por colocar pessoas incríveis no meu caminho, por escolher a família perfeita para mim.

Agradeço àqueles que me deram o maior presente do mundo, meus pais Daniela e João Paulo, obrigada por me darem a vida. Um agradecimento especial àqueles que moveram céu e terra por mim, meus avós, Sandra, Rosi, João e Selmiro, obrigada por fazerem dos meus sonhos os seus e sempre me incentivarem a nunca desistir, por trabalharem incansavelmente para eu ter tudo, amo vocês mais do que tudo nessa vida. Aos meus irmãos, Mariana e Marcelo, por sempre estarem do meu lado. Aos meus padrinhos, Daniela e Charliston, obrigada pelo apoio de sempre, ao meu afilhado Charliston Júnior, por ser a alegria da casa e iluminar nosso mundo. Agradeço também a todos os tios e primos que sempre torceram por mim, obrigada de coração.

Ao Gabriel, por estar comigo nesses anos de universidade, pela ajuda com os cálculos, pelo apoio e pela confiança no meu potencial, principalmente quando eu mesma não o enxergava.

Agradeço demais aos meus orientadores, que aceitaram esse grande desafio e foram meus grandes professores nesse um ano de LAFIC, Eduardo e Luana. Obrigada, Edu, por tudo que me ensinou nesse ano, pelo incentivo e apoio, por falar todo dia para eu ler mais, por passar finais de semana montando planilhas, planejamento, e corrigindo meu texto. Lu, minha coorientadora e amiga que quero levar para a vida, obrigada por me acolher e abrir um espaço para mim no seu mestrado, você é uma daquelas pessoas que abrem portas, obrigada por compartilhar ideias comigo, por me ensinar tanto, e pela parceria de rolês e karaokê, por fazer as tardes intermináveis no laboratório se tornarem divertidas.

Agradeço também ao Santos, que diariamente nos ajudou a corrigir a salinidade dos aquários, trocar a água, cortar cano, e também pela amizade que construímos, você também fazia as tardes no laboratório serem mais legais.

Obrigada, Will e prof. Yure, pelas dicas e apoio e pelos almoços no RU.

Agradeço também aos colegas do LAFIC que ajudaram no dia do experimento, Kãoa e Cris, e todos os demais colegas de laboratório que contribuíram de alguma forma, obrigada.

Agradeço a eles que formam junto comigo o quarteto apocalíptico, Pedro, Júlia e Stephanie. Obrigada por entenderem meu sumiço, me fazerem rir e me apoiarem. Pedro, obrigada pelo incentivo sempre, por compartilhar esse período do TCC comigo, por ser meu grande amigo durante esses anos, quero levar sua amizade para a vida. Júlia e Ste, obrigada pelos rolês, pelas conversas profundas no almoço, pela parceria na festa do pinhão, amei ter conhecido vocês.

Obrigada à 16.1, minha turma que tenho grande carinho, em especial a Lorraine, que foi minha primeira amiga, obrigada amiga por compartilhar comigo o amor pela leitura, pelas idas à praia, por desbravar comigo essa ilha maravilhosa.

Agradeço a todos os professores da oceanografia, por todos os ensinamentos, foi um privilégio ter aula com os melhores. E não poderia deixar de agradecer a Núbia, por ser sempre acolhedora e ajudar a salvar minha grade de horários todo semestre. Um agradecimento especial aos Profs. Leonardo e José, por transmitirem nas suas aulas tanto conhecimento e tanto amor pelas algas, vocês foram os responsáveis por eu ter escolhido a ficologia. Agradeço também à professora Alessandra, que faz da sala de aula uma verdadeira aula de vida. Obrigada, Leo e Ale, por aceitarem ser parte da minha banca, pela ajuda e todas as contribuições para esse trabalho.

Aqui
nesta pedra
alguém sentou
olhando o mar

o mar
não parou
para ser olhado
foi mar
para tudo quanto é lado

Paulo Leminski

RESUMO

A água é um recurso essencial à vida, e o crescimento populacional historicamente se concentrou em áreas costeiras ou próximas a bacias hidrográficas. Essa concentração populacional em áreas sensíveis resulta em uma série de problemas, como a eutrofização. Este fenômeno ocorre devido ao acúmulo excessivo de nutrientes na água, proveniente de efluentes urbanos, gerando um excesso de biomassa de produtores primários. Um exemplo é *Ulva ohnoi*, uma espécie de alga verde (Chlorophyta) oportunista que cresce rapidamente em ambientes com grandes quantidades de nutrientes. Para mitigar esse problema, surgem propostas de melhorias no tratamento terciário de efluentes, como o *Algae Turf Scrubber* (ATS). Este sistema utiliza algas fixas em um substrato para atuarem como um "filtro", onde as algas absorvem os nutrientes da água para gerar biomassa rica em bioprodutos. No ATS, os organismos crescem naturalmente, seguindo uma sucessão ecológica. Para acelerar o crescimento das algas nesse sistema, foi desenvolvido o *Seeded Algae Turf Scrubber* (sATS), que cultiva uma única espécie, eliminando o processo de sucessão. O objetivo deste trabalho foi medir o potencial de remoção de nutrientes de *Ulva ohnoi* no sATS, testando diferentes concentrações de células reprodutivas. Cinco diferentes concentrações de células reprodutivas foram testadas em triplicatas. Os sATS foram mantidos em ambiente com irradiância e temperatura controladas. O meio de cultivo foi preparado com 3,5L de água do mar e solução de nutrientes Von Stoch (8mL L^{-1}) em escala laboratorial. A solução de nutrientes foi adicionada a cada dois dias e o meio de cultivo foi trocado a cada sete dias. Após 21 dias de crescimento, testou-se a capacidade de remoção de nitrogênio amoniacal (N-NH₄⁺) e fosfato (P-PO₄³⁻) ao longo de 24 horas, utilizando as concentrações de nutrientes presentes no meio. O experimento mostrou que, em maior quantidade de células reprodutivas, há maior absorção dos nutrientes, porém com menor taxa de crescimento. Observou-se também que a menor concentração de células reprodutivas não foi a que absorveu menos nutrientes e apresentou uma grande taxa de crescimento, devido à maior disponibilidade de nutrientes por célula e mais espaço para desenvolvimento. Este estudo demonstrou que mesmo com poucas células reprodutivas, há eficiência na remoção de nutrientes e geração de biomassa. *Ulva ohnoi*, portanto, revela-se uma espécie promissora para sistemas de biorremediação, especialmente quando cultivada em sATS, onde pode maximizar a remoção de nutrientes de forma eficaz e sustentável.

Palavras-chave: Eutrofização; Biorremediação; *Ulva ohnoi*.

ABSTRACT

Water is an essential resource for life, and population growth has historically concentrated in coastal areas or near watersheds. This population concentration in sensitive areas results in several problems, such as eutrophication. This phenomenon occurs due to the excessive accumulation of nutrients in the water from urban effluents, generating an excess of primary producer biomass. An example is *Ulva ohnoi*, a species of opportunistic green algae (Chlorophyta) that grows rapidly in environments with high nutrient levels. To mitigate this problem, improvements in tertiary treatment have been proposed, such as the Algae Turf Scrubber (ATS). This system uses algae fixed on a substrate to act as a "filter," where the algae absorb nutrients from the water to generate biomass rich in bioproducts. In the ATS, organisms grow naturally, following ecological succession. To accelerate algae growth in this system, the Seeded Algae Turf Scrubber (sATS) was developed, which cultivates a single species, eliminating the succession process. The objective of this study was to measure the nutrient removal potential of *Ulva ohnoi* in the sATS, testing different concentrations of reproductive cells. Five different concentrations of reproductive cells were used in triplicate. The sATS were maintained in an environment with controlled irradiance and temperature. The culture medium was prepared with 3.5L of seawater and Von Stoch nutrient solution (8mL L⁻¹) on a laboratory scale. The nutrient solution was added every two days, and the culture medium was changed every seven days. After 21 days of growth, the ammonium nitrogen (N-NH₄⁺) and phosphate (P-PO₄³⁻) removal capacity was tested over 24 hours, using the nutrient concentrations present in the medium. The experiment showed that with a higher number of reproductive cells, there was greater nutrient absorption but a lower growth rate. It was also observed that the lowest concentration of reproductive cells did not absorb the least nutrients and exhibited a high growth rate due to the greater availability of nutrients per cell and more space for development. This study demonstrated that even with a few reproductive cells, there is efficiency in nutrient removal and biomass generation. *Ulva ohnoi*, therefore, proves to be a promising species for bioremediation systems, especially when cultivated in sATS, where it can maximize nutrient removal effectively and sustainably.

Keywords: Eutrophication; Bioremediation; *Ulva ohnoi*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – A e B - Desenho esquemático do sistema sATS	21
Figura 2 – Estação de Maricultura Professor Elpídio Beltrame - UFSC	22
Figura 3 – Taxa de Crescimento <i>U. ohnoi</i>	25
Figura 4 - Talos de <i>U.ohnoi</i> fixados nas rampas	26
Figura 5 A, B e C - Mudanças na concentração de N-NH ₄ em relação ao tempo, NUE e NUR	27
Figura 6 A e B - Mudanças na concentração de P-PO ₃ em relação ao tempo, NUE, e NUR	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATS	<i>Algae Turf Scrubber</i>
sATS	<i>Seeded Algae Turf Scrubber</i>
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
LAFIC	Laboratório de Ficologia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVO	20
2.1 OBJETIVO GERAL	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3 MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1 SEEDED ALGAE TURF SCRUBBER (sATS)	20
3.2 COLETA E LIMPEZA DAS ALGAS	21
3.3 INDUÇÃO DA REPRODUÇÃO E CULTIVO DAS PLÂNTULAS DE <i>U. ohnoi</i> EM SISTEMA sATS	22
3.4 ANÁLISE DE ABSORÇÃO DE NUTRIENTES	23
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	24
4 RESULTADOS	25
5 DISCUSSÃO	30
6 CONCLUSÃO	31

1 INTRODUÇÃO

A água é essencial para a existência e manutenção da vida, não por acaso, o crescimento populacional concentrou-se em áreas costeiras ou próximas a bacias hidrográficas (Vitousek *et. al*, 1997). Especialmente no período pós revolução industrial, onde ocorreu um aumento na demanda por matérias-primas, o consumo exacerbado combinado à migrações, culminaram num processo acentuado de urbanização (Volesky, 2001). Essa crescente antrópica sobre áreas de grande sensibilidade ambiental, como é a zona costeira, causa inúmeros problemas, como por exemplo, um aumento desproporcional na demanda de alimentos e água, a poluição dos corpos hídricos pelo destino inadequado dos efluentes industriais e domésticos, perda de biodiversidade marinha e a deterioração dos ecossistemas costeiros (Magarotto, Costa & Masanet 2021; Avazdahandeh & Khalilian, 2020; Martins *et al*, 2012; Scrermer *et al.*, 2013). Portanto, os grandes centros urbanos são um dos focos poluidores dos corpos hídricos, produzindo uma enorme quantidade de efluentes líquidos (Archela *et al.* 2003).

Naturalmente, o meio ambiente é capaz de depurar elementos que entram no sistema através de absorção e transformação por organismos e sedimentos. Contudo, as grandes entradas, sejam elas crônicas ou agudas, ocasionadas pelas atividades antrópicas o sobrecarregam (Scrermer *et al.*, 2013). O aumento da concentração de nutrientes, como as formas de Nitrogênio e Fósforo, contribui significativamente para a eutrofização. Esta é a poluição mais recorrente ao longo do globo nas zonas costeiras (NIXON, 1995). A eutrofização é um fenômeno de aumento na produção biológica, consequência da elevada concentração de nutrientes dissolvidos no meio, levando a um aumento excessivo da produção de biomassa de produtores primários. Esse excesso de nutrientes pode ser de origem natural, através da lixiviação, por exemplo, ou por ação antrópica. A eutrofização antrópica possui diferentes origens, como: despejo inadequado de efluentes domésticos, industriais e atividades agrícolas, e efluentes de sistemas de criação de organismos aquáticos. (Macedo & Tavares, 2010).

A respeito desses efluentes, eles são classificados como resíduos complexos porque além de conter nutrientes inorgânicos, nitrogênio (N) e fósforo (P), também possuem compostos orgânicos, como o cloro, e alguns metais traços. Antes do efluente ser lançado em algum corpo hídrico, vários tratamentos são necessários e

obrigatórios segundo resolução CONAMA N° 430/2011. No tratamento primário, o efluente é peneirado para remover partículas grandes e, em seguida, é passado para câmaras de decantação, onde as partículas se depositam. No secundário, o efluente líquido remanescente é colocado em um tanque, onde é aerado para favorecer o crescimento bacteriano e a oxidação aeróbica dos materiais, esse processo retira grande parte dos orgânicos. No tratamento terciário, nutrientes como N e P são removidos por tratamento químico (por exemplo, precipitação de fosfato por alume) ou tratamento biológico (por exemplo, cultivo de fitoplâncton para remover nutrientes). Porém o tratamento terciário é considerado muito caro, por isso é raramente utilizado, e os efluentes acabam sendo liberados, muitas vezes, diretamente em corpos receptores como rios, lagos e oceanos (Ryther *et al.* 1972; Lobban & Harrison, 1994).

O problema crescente envolvendo o tratamento de efluentes é de ordem mundial, colocando em risco a disponibilidade de água limpa e saúde pública em inúmeros países (Biswas & Tortajada, 2018). Visando conduzir os governos, empresas e sociedades para um mundo mais sustentável, a Organização das Nações Unidas (ONU) propôs uma agenda com metas a serem cumpridas até 2030, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), abordando os principais desafios de desenvolvimento enfrentados pelas pessoas em todo o mundo. Dos 17 objetivos, dois deles estão diretamente ligados à necessidade de tratamento adequado de efluentes. O ODS n° 6 tem metas para assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos, e o ODS n° 14 destaca a conservação e uso sustentável dos oceanos, mares e recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável (ONU, 2018; ONU, 2015).

Diante disso, formas de ampliar o tratamento terciário para a remoção de nutrientes de efluentes ou de ambientes contaminados por estes vêm sendo propostas (Ali *et al.* 2023; El Hamouri 2008; Wu, Yang & LIN, 2005). A biorremediação se destaca nesse sentido, onde, através do cultivo de organismos, busca a diminuição ou remoção total dos poluentes (Vidali, 2001). Essas tecnologias de biorremediação baseiam-se no uso de bactérias (lodos ativados, sistemas anaeróbios, lagoas de estabilização) e outros organismos como fungos (na compostagem), plantas (fitorremediação) e algas (fitorremediação) (Phang, Chu & Rabiei, 2015).

A fitorremediação tem alcançado bons resultados na remoção de nutrientes, metais pesados, entre outros poluentes (Priya et al 2014). Esses resultados são provenientes da capacidade das algas de ocupar todos os meios que lhes ofereçam luz, umidade e nutrientes suficientes, sendo encontradas em águas doces, marinhas, sobre os solos úmidos ou mesmo sobre a neve. Como organismos fotossintetizantes, retiram todos os nutrientes que precisam do meio onde estão (Vidotti & Rollemberg 2004), e sua capacidade de absorver compostos nitrogenados e fósforo, contribui para sua adaptabilidade e distribuição ecológica (Oliveira et al. 2024). Dentre estes organismos, algas do gênero *Ulva* (Chlorophyta) desempenham um importante papel ecológico na ciclagem de nutrientes marinhos, fornecendo alimento e habitat para uma diversidade de espécies (Riccardi & Solidoro, 1996; Massocato et al. 2022). Trata-se de um gênero cosmopolita, encontrado em diversos ambientes e possui grande adaptabilidade às variações ambientais (Mantri et al, 2020). Esse gênero é conhecido pelas chamadas “marés verdes” - acúmulo de biomassa oriunda do rápido crescimento em ambientes eutróficos, onde esses organismos acabam consumindo a maior parte dos nutrientes disponíveis, limitando o crescimento de outras espécies (Alstyne, Nelson & Ridgway, 2015; Human et al 2018). Devido à sua alta capacidade de absorver nutrientes N e P, este gênero tem sido utilizado como biofiltro em águas residuais de sistemas de tratamento, como por exemplo, em efluentes da indústria alimentícia (Mulbry et al 2008; Karray et al 2017), assim como para o tratamento terciário de efluentes domésticos (Tsagkamilis et al 2009; Sode et al., 2013) e vem ganhando destaque principalmente para a remoção desses nutrientes na produção de outros organismos aquáticos, como ostras e camarões (Lawton et al., 2013; Nardelli et al 2018; Sebök & Hanelt 2023), onde diferentes organismos se beneficiam mutuamente e contribuem para a sustentabilidade ambiental e econômica (Chopin et al., 2001; Neori et al., 2003). Ao combinar conhecimentos sobre cultivo e metabolismo, é possível promover o crescimento ideal para remover de maneira eficiente nutrientes em excesso que contaminam corpos d’água, ao mesmo tempo em que produz biomassa (Salvi et al, 2021).

A espécie *Ulva ohnoi* (Hiraoka & S.Shimada) tem sido destaque como agente para biorremediação de águas residuais de aquicultura (Lawton et al., 2013), e no tratamento terciário de efluentes (Sode et al., 2013), se destacando na absorção de nitrogênio e fósforo. Essa espécie possui uma biomassa rica em

lipídios, proteínas e polissacarídeos de interesse econômico, e é de fácil de cultivo devido à sua alta tolerância às mudanças de parâmetros físico-químicos, seu uso pode ser pensada para integrar sistemas de cultivo integrados com a biorremediação (Lawton et al 2013), como é o caso do Algal Turf Scrubber.

O Algal Turf Scrubber (ATS), é um sistema projetado para utilizar algas fixas em um substrato com alguns critérios pré-estabelecidos (como o fluxo de água, por exemplo) e tem como objetivo controlar uma ampla variedade de parâmetros de qualidade de água, utilizando algas como um “filtro” que limpa a água. Desenvolvido no início da década de 1980 no Smithsonian Institution como uma “solução baseada na natureza”, o ATS foi inicialmente usado como uma ferramenta para gerenciar uma extensa série de modelos vivos de microcosmos e mesocosmos de ecossistemas selvagens (Stewart, 2004; Adey e Loveland 2011). A operação consiste em despejar o efluente através de um “tapete” de algas fixadas a um substrato sob uma rampa levemente inclinada. A fixação das algas ocorre naturalmente, obedecendo a uma complexa sucessão ecológica de organismos oriundos do próprio efluente. O fluxo turbulento proporciona crescimento acelerado e alta taxa de remoção de poluentes, quebrando a camada limite. Ao mesmo tempo, gera biomassa rica em compostos primários e secundários (HESS et al., 2019). Em 2019, Salvi *et. al* propuseram uma modificação no ATS, o Seeded Algae Turf Scrubber (sATS), onde eliminou a etapa de sucessão ecológica, tornando o funcionamento do sistema mais rápido e monoespecífico, através da inoculação de células reprodutivas de *U. ohnoi*. Considerando que há ainda muitas alternativas e parâmetros a serem testados dentro da tecnologia de sATS e que o uso dessa tecnologia não é abrangente, seu estudo e implantação para nossa realidade despontam como uma excelente oportunidade de pesquisa e de solução de problemas complexos e históricos de saneamento (Martini et al, 2019)

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o crescimento e o potencial de remoção de nitrogênio e fósforo por *Ulva ohnoi* em um sistema do tipo *Seeded Algal Turf Scrubber* (sATS) inoculado com diferentes densidades de células reprodutivas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Determinar a eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal (N-NH_4^+) por *U ohnoi* em um sistema do tipo *Seeded Algal Turf Scrubber* (sATS) inoculado com diferentes densidades de células reprodutivas.

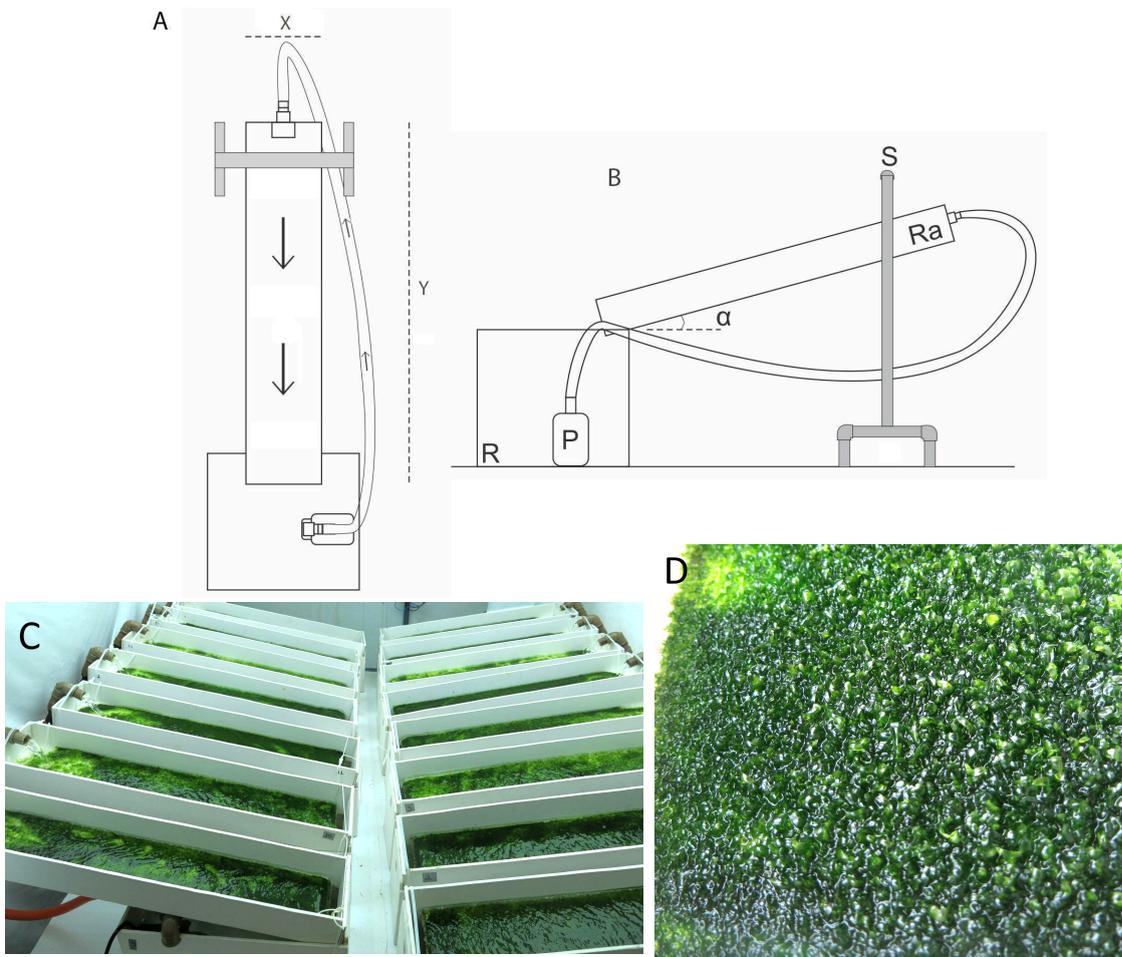
b) Determinar a eficiência de remoção de Fosfato (P-PO_4^{3-}) por *U. ohnoi* em um sistema do tipo *Seeded Algal Turf Scrubber* (sATS) inoculado com diferentes densidades de células reprodutivas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 SEEDED ALGAE TURF SCRUBBER (sATS)

O sistema montado para este trabalho consiste em 15 sATS, em escala laboratorial, instalados no laboratório de Ficologia da Universidade Federal de Santa Catarina. As rampas possuem 60 cm de comprimento por 12 cm de largura e são apoiadas em reservatórios de 4,5 L, ambos feitos de PVC expandido, e contam com uma estrutura de canos de PVC para controlar a inclinação (Figura 1). Para o bombeamento da água, foram utilizadas bombas submersas de 1200 L/h, conectadas a uma mangueira até o início da rampa, formando assim um sistema de circulação fechada. Em cada rampa, para a fixação das macroalgas, foi utilizada uma malha de nylon lisa de monofilamento com abertura de 1 mm. O sistema sATS é ilustrado na Figura 1.

Figura 1. A e B - Desenho esquemático do sistema sATS (modificado de Salvi et al, 2021). A - Vista superior. b - Vista lateral. X = 12 cm, Y = 60 cm, R = reservatório, P = bomba, α = inclinação de 10°, Ra = rampa e S = estrutura que permite alterar o ângulo de inclinação. C – Sistemas sATS. D – Sistema sATS após 21 dias de maturação.



Fonte: modificado de Salvi (2021)

3.2 COLETA E LIMPEZA DAS ALGAS

Talos de *U. ohnoi* foram coletados em uma lagoa de decantação que recebe as águas ricas em nutrientes do Laboratório de Moluscos Marinhos (LMM) na Estação de Maricultura Professor Elpídio Beltrame - UFSC, no dia 04 de abril de 2024 (Figura 2). As algas foram levadas ao Laboratório de Ficologia da UFSC, onde foi realizado o processo de lavagem com água do mar autoclavada, pincéis para remover epífitas, invertebrados e sedimentos de forma mecânica, banhos com água

destilada e hipoclorito de sódio (0,025%) por 20 segundos para eliminação de microrganismos (Salvi *et. al*, 2021).

Figura 2- Estação de Maricultura Professor Elpídio Beltrame - UFSC



Fonte: Registro da Autora

3.3 INDUÇÃO DA REPRODUÇÃO E CULTIVO DAS PLÂNTULAS DE *U. OHNOI* EM SISTEMA sATS

Para induzir a reprodução, os talos da *U. ohnoi* foram cortados em fragmentos menores que 1 cm², lavados com água do mar autoclavada e expostos ao ar em irradiância de $180 \pm 10 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ por 30 minutos. Em seguida os fragmentos foram imersos em água do mar com 60 mL do meio von Stosch em 2 litros de água do mar. Os talos foram mantidos em béquer com aeração constante, sendo diariamente monitorados, até a liberação de células reprodutivas.

A contagem de células reprodutivas liberadas foi realizada utilizando uma Câmara de Neubauer (volume 0.009 mL). A partir de uma solução concentrada, foram contadas 550.000 células por mL, diluídas em 5 concentrações (C1= 3.142 células/mL; C2= 1048 células/mL; C3= 348 células/mL; C4= 116 células/mL; C5= 39 células/mL) de células reprodutivas que foram inoculadas nos sATS em triplicata.

Os sistemas sATS foram mantidos em maturação em ambiente controlado com irradiância ($150 \pm 10 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e temperatura ($25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$). O meio de cultivo foi preparado com 3,5L de água do mar e solução de nutrientes von Stoch

(8mL L⁻¹) modificando a fonte de nitrogênio de NaNO₃ por NH₄Cl. A solução de nutrientes foi adicionada a cada 2 dias e a água do cultivo trocado a cada 7 dias. Diariamente a salinidade foi avaliada e, quando necessário, corrigida com água destilada. Durante o processo de maturação dos tapetes, os substratos com algas foram removidos e pesados, a fim de se obter a taxa de crescimento diário segundo a equação:

$$\text{Crescimento Diário} = \left[\left(\frac{Pf}{Pi} \right) 1t - t \right] \times 100$$

Onde Pf é o peso final, Pi é o peso inicial e t é o tempo em dias.

3.4 ANÁLISE DE ABSORÇÃO DE NUTRIENTES

Após 21 dias de crescimento dos talos de *U. ohnoi* nos sistemas sATS, foi realizado uma cinética de absorção de nitrogênio e fósforo. Para tal, foram utilizadas as concentrações de fosfato (PO₄³⁻) e nitrogênio (NH₄⁺), contidas no meio de cultivo von Stoch. A fonte de nitrogênio foi modificada de nitrato para amônio devido à preferência de *Ulva* spp. para amônio como fonte de nitrogênio (Ale et al. 2011) Como fonte de nitrogênio foi utilizado NH₄Cl e Na₂HPO₄ para fosfato.

Para avaliar as mudanças nas concentrações de P-PO₄³⁻ e N-NH₄⁺ ao longo do tempo, uma amostra de 6 mL de cada sATS foi retirada depois de 15, 30, 60, 120, 240 e 1440 min da adição do meio von Stoch. P-PO₄³⁻ foi avaliado utilizando o método do azul de molibdênio segundo Strickland e Parsons (1972) e o N-NH₄⁺ pelo método do indofenol segundo Grasshoff et al. (1983). Amostras de 6 mL foram retiradas antes da adição do meio von Stoch para quantificação das concentrações residuais de P-PO₄³⁻ e N-NH₄⁺.

A partir dos dados de concentração ao longo do tempo, calculamos a redução na concentração de nutrientes entre os intervalos de tempo, expressa em porcentagem é definida como Eficiência de Absorção de Nutrientes (NUE)

$$\text{NUE (\%)} = 100 - \left(\frac{c_{(t-1)} \times 100}{C_t} \right)$$

A quantidade de nutrientes removidos por unidade de tempo por volume pelo peso seco das algas representa a taxa de absorção de nutrientes (NUR) e é determinada a partir de mudanças em $P-PO_4^{3-}$ e $N-NH_4^+$.

$$NUR \text{ (mg. g}^{-1}\text{.DW. h}^{-1}\text{)} = \frac{(C_t \times V_t) - (C_{t-1} \times V_{t-1})}{B \Delta t}$$

Onde C_t é a concentração inicial, V_t o volume inicial, C_{t-1} e V_{t-1} , representam respectivamente a concentração inicial passado o tempo t-1, e o volume após t-1, B é a biomassa e Δt é o intervalo de tempo entre t e t-1

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

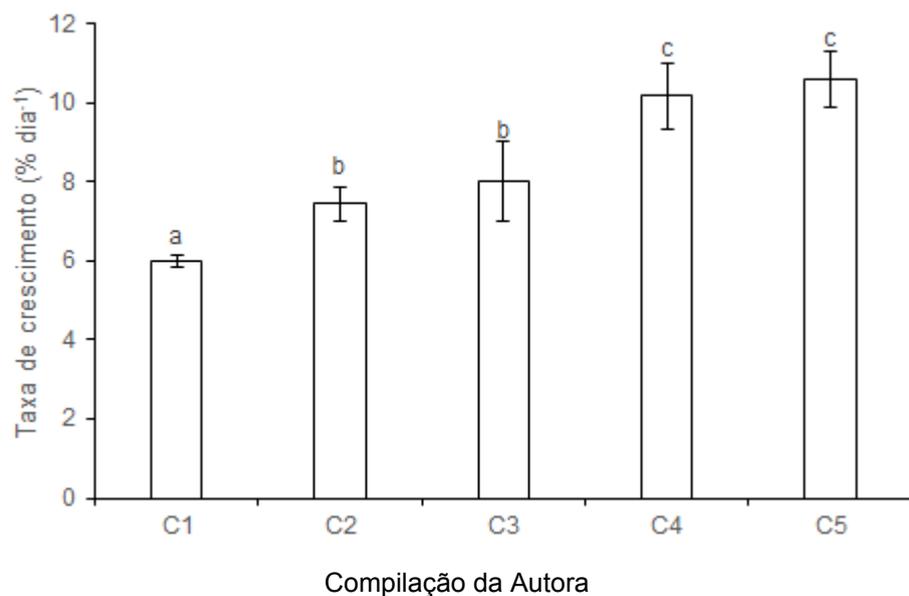
Os dados foram verificados quanto à normalidade e homogeneidade das variâncias (teste de Cochran). Uma vez obtidas as suposições, foi realizada uma Análise de variância de medidas repetidas (RM ANOVA) para avaliar alterações nas concentrações dos dados de $P-PO_4^{3-}$ e $N-NH_4^+$, com as concentrações de nutrientes e tempo de exposição como fatores. RM ANOVA também foi realizada para os dados de NUE e NUR. Quando foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$), foi aplicado o teste de comparação múltipla post hoc de Student Newman-Keuls (SNK). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software STATISTICA 12 (StatSoft, Inc. 2011).

4. RESULTADOS

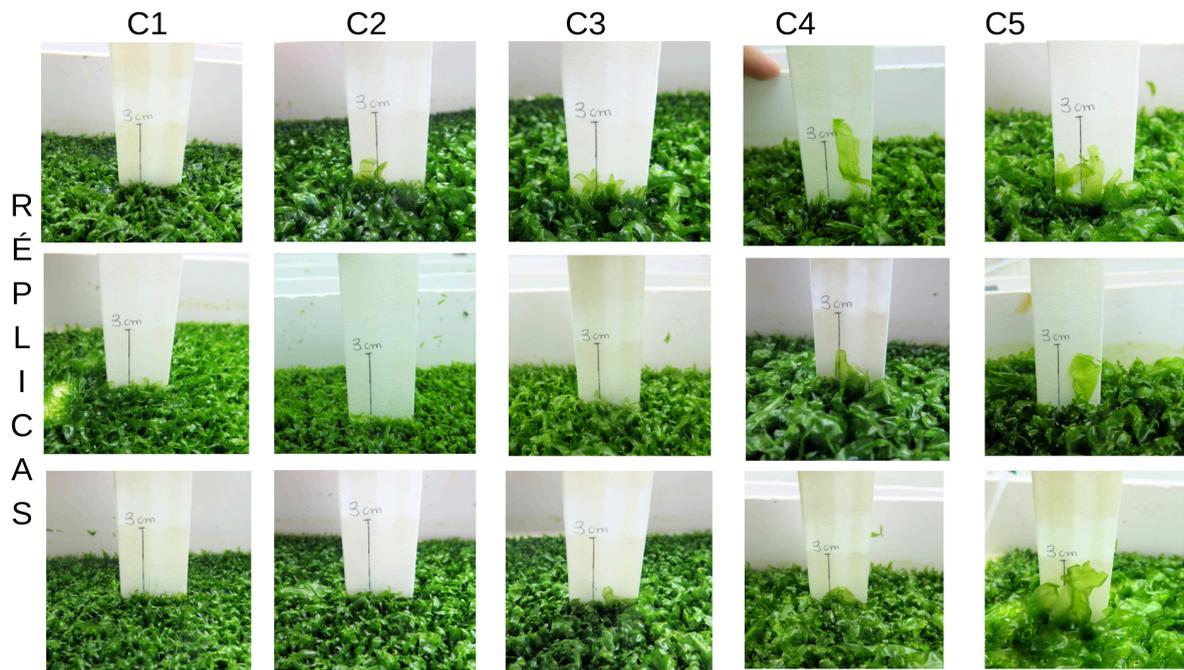
4.1 BIOMASSA

Na figura 3, observamos as taxas de crescimento ($\% \text{ dia}^{-1}$) entre os 11 dias antecedentes a cinética de absorção, demonstrando respostas significativamente diferentes entre as densidades de células reprodutivas inoculadas (one-way ANOVA, $F = 23,641$; $p < 0,001$). Destacam-se os valores de taxa de crescimento significativamente (one-way ANOVA; SNK, $p < 0,01$) maiores nas menores concentrações de células reprodutivas inoculadas (C4 e C5). C1 foi significativamente menor de todas as outras concentrações de células reprodutivas inoculadas (one-way ANOVA; SNK, $p < 0,05$).

Figura 3 - Taxa de crescimento



Embora não avaliado, também foi observado visualmente diferenças no tamanho dos talos nas diferentes concentrações (Figura 4).

Figura 4 - Talos de *U. ohnoi* fixados nas rampas.

Fonte: Compilação da Autora

4.2 ANÁLISE DE ABSORÇÃO DE NUTRIENTES

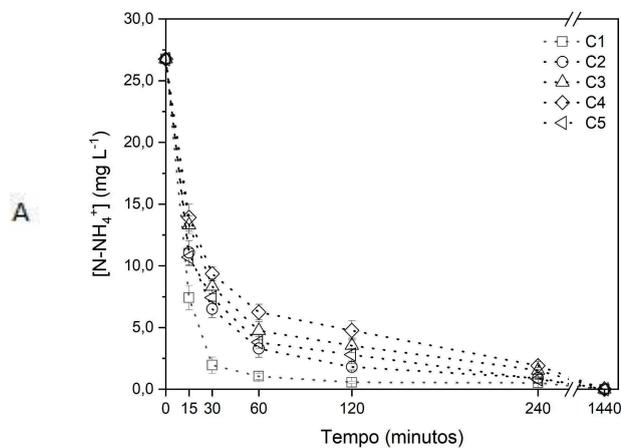
As mudanças nas concentrações de $P-PO_4^{3-}$ e $N-NH_4^+$, NUE e NUR são mostradas nos gráficos (Figura 5 e 6). Nos dados de concentração de $P-PO_4$ e $N-NH_4^+$ ao longo do tempo, observou-se remoção completa após 1440 min de ambos os nutrientes nas cinco concentrações de células reprodutivas inoculadas, não havendo diferença significativa para esse tempo. (SNK: $P-PO_4^{3-} = F = 0,28$, $p = 0,88$; $N-NH_4^+ = F = 0,72$, $p < 0,59$). Para $N-NH_4^+$, os tempos 60 min, 120 min e 240 min na concentração de células C1, não foram diferentes do tempo 1140 min. Em 15 min a C1 foi diferente de todas as outras concentrações para esse tempo mostrando um destaque proeminente das demais, mas sem diferença para os 30 min da concentração de células C5 e C3. Já Para $P-PO_4^{3-}$, em C1 o tempo de 15 min não foi diferente de C2, e foi igual aos 240 min das demais concentrações, marcando uma absorção mais linear, não havendo diferença significativa nos outros tempos.

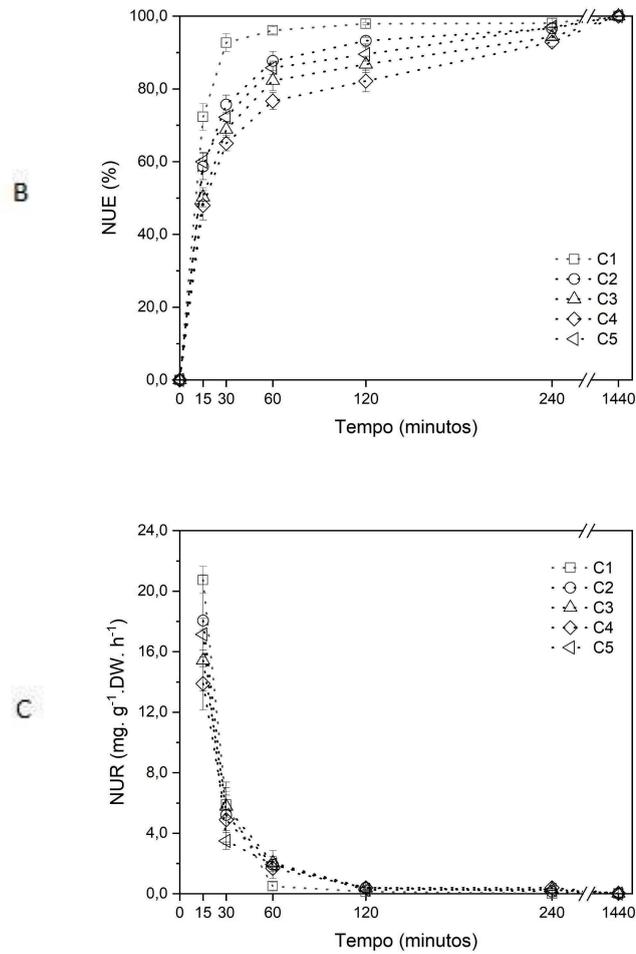
A taxa de eficiência de absorção de nutrientes (NUE) para $N-NH_4^+$ entre 0-15 min na C1 foi significativamente diferente de todas as demais exceto para os 0-30 min de C3 e C5, observou-se uma redução máxima de 70% em C1 (RM ANOVA, SNK: $p < 0,01$) (Figura 5b). Entre 0-15 min C3 e C4 foram iguais, assim como C2 e

C5. Entre 60, 120, 440, 1440 min não houve diferença significativa para as concentrações. Também foi observado, que a concentração C4 foi a que menos absorveu (RM ANOVA, SNK: $p < 0,01$). O mesmo ocorreu para $P-PO_4$, onde nos primeiros 15 minutos, obtivemos uma redução de quase 50% na concentração do nutriente em C1 (Figura 6b), significativamente diferente das demais, não havendo diferença significativa nos outros tempos.

A taxa de absorção de nutrientes pelo tempo, por peso e por volume (NUR) para $P-PO_4^{3-}$ mostrou diferença significativa entre todas as concentrações de células reprodutivas ($p < 0,05$) apenas entre os tempos 0 e 15 min. Já em $N-NH_4$ C1 foi diferente de todos os outros nesse tempo, C3 e C4 foram iguais, assim como C2 e C5. (Figura 5 e 6 c). Não houve diferença significativa entre os outros tempos.

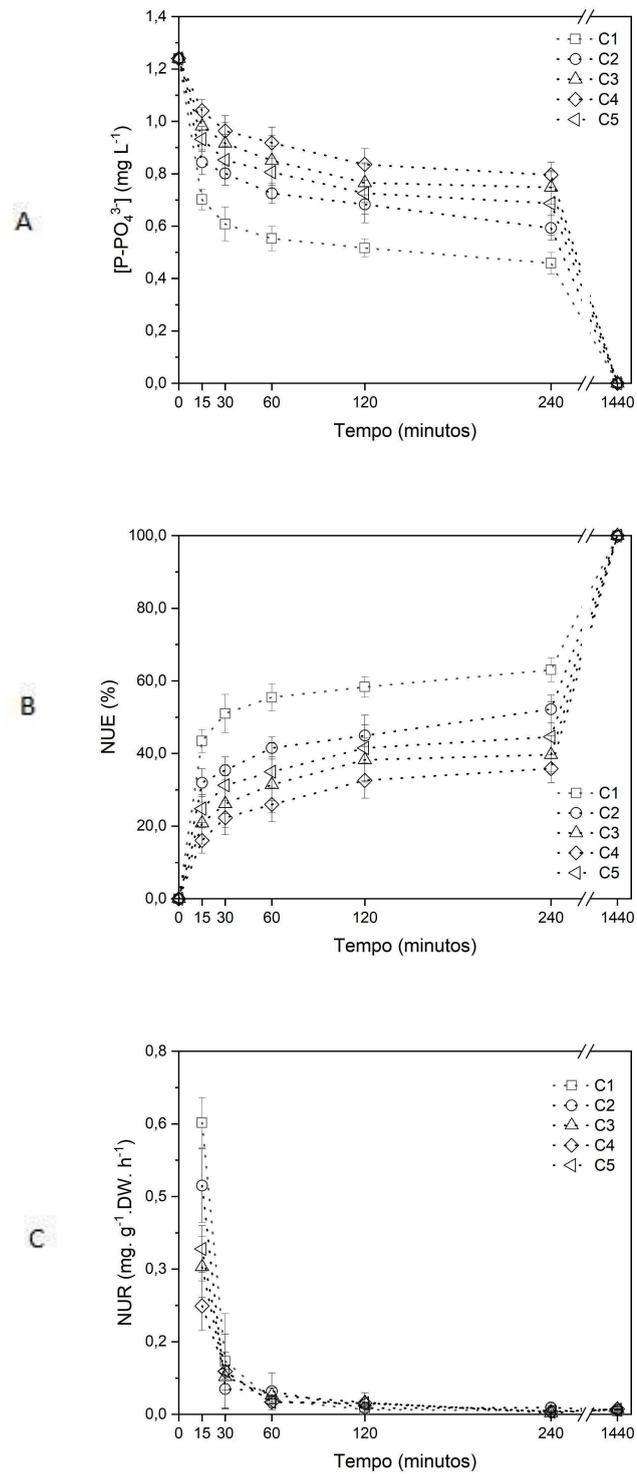
Figura 5 - A) Mudanças na concentração de $N-NH_4^+$ em relação ao tempo em cinco concentrações de células reprodutivas de *U. ohnoi* inoculadas. B) Eficiência de absorção de nutrientes (NUE) de $N-NH_4^+$. C) Taxa de remoção (NUR) de $N-NH_4^+$.





Fonte: Compilação da Autora.

Figura 6 - A) Médias das mudanças na concentração de $P-PO_4^{3-}$ em relação ao tempo, em cinco diferentes concentrações de células reprodutivas de *U. ohnoi* inoculadas. B) Eficiência de absorção de nutrientes (NUE) de $P-PO_4^{3-}$. C) Taxa de remoção (NUR) de $N-NH_4^+$



Fonte: Compilação da Autora.

5 DISCUSSÃO

A principal contribuição deste trabalho foi mostrar que inocular diferentes densidades de células reprodutivas de *U. ohnoi* no sistema sATS, têm influência na absorção dos nutrientes $P-PO_4^{3-}$ e $N-NH_4^+$ e na taxa de crescimento da alga. É possível analisar, segundo os Figuras 5 e 6, que as taxas de absorção chegaram a 100% em 24h, para ambos os nutrientes, indicando que o limite do sistema para absorção não foi atingido. Vale ressaltar que nos primeiros 15 minutos para $N-NH_4^+$ a absorção foi de aproximadamente 70% e para $P-PO_4^{3-}$ quase 50%, em todos os tratamentos. Correlacionando as densidades de células reprodutivas inoculadas no sistema com os índices de assimilação, C1 obteve uma maior absorção para ambos os nutrientes, seguida de C2, C5, C3 e C4 sendo a que menor absorveu. A respeito das taxas de crescimento de cada tratamento, é possível aferir de acordo com a Figura 3, que as menores concentrações de células reprodutivas, C5 e C4, foram as que tiveram uma maior taxa de crescimento respectivamente, enquanto C1 teve a menor taxa, seguida de C2 e C3.

De acordo com o que foi observado, a maior taxa de absorção de nutrientes ocorreu nos sistemas com maior concentração de células reprodutivas, tanto para fosfatos quanto para amônio, corroborando com a ideia de que quanto mais indivíduos, maior é a absorção pelas algas. Por outro lado, a taxa de absorção mais baixa não ocorre na menor concentração de células reprodutivas. A respeito disso, segundo Loban & Harrison (1994), é possível afirmar que a quantidade de nutrientes absorvido pelas algas depende de vários fatores, sendo eles químicos, como a quantidade de nutrientes no meio e sua forma iônica; Físicos, como temperatura, irradiância, hidrodinâmica; ou biológicos como espécie, idade, morfologia do talo e de que maneira a célula absorve o nutriente. Levando em consideração que as algas estavam expostas a um ambiente com irradiância e temperatura iguais, recebendo a mesma quantidade de nutrientes e submetidas a mesma hidrodinâmica, os fatores biológicos devem ter sido as causas para essa diferença nas taxas de absorção.

Dito isso, é possível afirmar que houve competição por recursos entre os organismos. C1 obteve maior absorção de N e P e menor taxa de crescimento, visto que uma maior quantidade de células significa mais organismos competindo entre si por recursos e por espaço, já que há mais células por cm^2 (Siegel 1998). Paralelamente, em C5 foi obtida a maior taxa de crescimento, pois as poucas células

inoculadas sofreram menos competição por recursos em relação às demais. Como consequência disso, o comprimento dos talos nas menores concentrações foi visivelmente maior, aumentando a área de contato com o meio (Figura 4). Por fim, é possível afirmar que uma maior densidade celular apresenta melhor taxa de absorção de nutrientes, porém o comprimento dos talos também deve ser considerado como fator de influência para biorremediação.

Inúmeros estudos já destacaram a alta eficiência de remoção de nutrientes de *Ulva* spp. sendo consideravelmente maior que outras espécies (Arévalo, Pinedo & Ballesteros 2007; Copertino, Tormena & Seeliger, 2009). Especialmente o gênero tem se destacado pelo potencial de integrar produção aquícola com biorremediação em uma abordagem de aquicultura multitrófica, integrando a cultura de organismos com funções ecossistêmicas diferentes e complementares (Neori et al., 2004; Nardeli et al 2023). Sistemas desse tipo têm sido reconhecidos como a abordagem mais promissora para reduzir o excesso de nutrientes liberados pela atividade aquícola, devido à alta eficiência de absorção de nutrientes pelas macroalgas, suas rápidas taxas de crescimento e aspectos econômicos e práticos de seu cultivo (Neori et al 1996; Sode 2013; Sebök & Hanelt 2023).

6 CONCLUSÃO

Dessa forma, os resultados deste trabalho sugerem que a densidade de células reprodutivas inoculadas no sistema sATS é um parâmetro a ser considerado, uma vez que tem influência na absorção de nutrientes e na taxa de crescimento de forma distinta. A menor densidade de células não foi a concentração menos efetiva, o que abre o pressuposto de que uma menor densidade de células reprodutivas, têm desempenho igual aos tratamentos com maior concentração de células reprodutivas, tornando o sistema funcional até mesmo em baixas concentrações de células.

Para além dos resultados obtidos nesse trabalho, é possível afirmar que a metodologia conversa diretamente os “Objetivos de Desenvolvimento Sustentável” (ODS), em especial o ODS-6 e ODS -14, uma vez que promove a gestão sustentável dos recursos hídricos, melhorando a qualidade da água e trazendo uma alternativa de produção mais responsável prezando a conservação do ecossistema.

REFERÊNCIAS

ADEY, W. H.; LOVELAND, K. *Dynamic aquaria: building living ecosystems*. [S.l.]: Academic Press, 2011

ALI, A. et al. **Wastewater treatment by using microalgae: Insights into fate, transport, and associated challenges**. *Chemosphere*, v. 338, p. 139501–139501, 1 out. 2023.

ARCHELA et al. **Considerações sobre a geração de efluentes líquidos em centros urbanos**. *Geografia - Volume 12 - Número 1 - Jan/Jun*. 2003.

ARÉVALO, R.; PINEDO, S.; BALLESTEROS, E. **Changes in the composition and structure of Mediterranean rocky-shore communities following a gradient of nutrient enrichment: Descriptive study and test of proposed methods to assess water quality regarding macroalgae**. *Marine Pollution Bulletin*, v. 55, n. 1-6, p. 104–113, jan. 2007.

AVAZDAHANDEH, S.; KHALILIAN, S. **The effect of urbanization on agricultural water consumption and production: the extended positive mathematical programming approach**. *Environmental Geochemistry and Health*, v. 43, n. 1, p. 247–258, 1 jan. 2021.

BARTOLI, M. et al. **Inorganic nitrogen control in wastewater treatment ponds from a fish farm (Orbetello, Italy): Denitrification versus *Ulva* uptake**. *Marine Pollution Bulletin*, v. 50, n. 11, p. 1386–1397, nov. 2005.

BISWAS, A. K., & TORTAJADA, C. **Global Wastewater Management and Its Future**. *International Journal of Water Resources Development*, v. 35(4), p. 1-26 jan 2018.

CHOPIN, T. et al. **Multitrophic Integration for Sustainable Marine Aquaculture**. *Encyclopedia of Ecology*, p. 2463–2475, 2008.

EI HAMOURI, B. (2009). **Rethinking natural, extensive systems for tertiary treatment purposes: The high-rate algae pond as an example.** *Desalination and Water Treatment*, 4(1–3), 128–134. <https://doi.org/10.5004/dwt.2009.367>

FAN, X. et al. **The effect of nutrient concentrations, nutrient ratios and temperature on photosynthesis and nutrient uptake by *Ulva prolifera*: implications for the explosion in green tides.** *Journal of Applied Phycology*, v. 26, n. 1, p. 537–544, 24 maio 2013.

FONSECA, A. L.; NEWTON, A.; CABRAL, A. **Local and meso-scale pressures in the eutrophication process of a coastal subtropical system: Challenges for effective management.** *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 250, p. 107109, mar. 2021.

HUCHINSON, G. E. **Marginalia: Eutrophication: The Scientific Background of a Contemporary Practical Problem.** Vol. 61, No. 3, pp. 269-279 Mai. 1973

HUMAN, L. et al. **Natural nutrient enrichment and algal responses in near pristine micro-estuaries and micro-outlets.** *Science of the Total Environment*, 624, 945–954. 2018 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.184>

HUO, Y. et al. **Effects of seaweed *Gracilaria verrucosa* on the growth of microalgae: A case study in the laboratory and in an enclosed sea of Hangzhou Bay, China.** *Harmful Algae*, v. 10, n. 4, p. 411–418, maio 2011.

KARRAY, R. et al. **Anaerobic co-digestion of Tunisian green macroalgae *Ulva rigida* with sugar industry wastewater for biogas and methane production enhancement.** *Waste Management*, v. 61, p. 171–178, mar. 2017.

LAGOURGUE, L. et al. (2022) **Ten new species of *Ulva* (Ulvophyceae, Chlorophyta) discovered in New Caledonia: genetic and morphological diversity, and bloom potential**, *European Journal of Phycology*, 57(4), pp. 458–478. doi: 10.1080/09670262.2022.2027023. Fev. 2022.

LAWTON, R. J. et al. **Algal Bioremediation of Waste Waters from Land-Based Aquaculture Using Ulva: Selecting Target Species and Strains**. PLoS ONE, v. 8, n. 10, p. e77344, 15 out. 2013. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077344>

IE, M.T., MIKKELSEN, J.D. & MEYER, A.S. **Differential growth response of Ulva lactuca to ammonium and nitrate assimilation**. J Appl Phycol 23, 345–351 2011. <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9546-2>

LEONG, K.Y.; CHI-HU; H. & CHANG, J. **Pollution prevention and waste phycoremediation by algal-based wastewater treatment technologies: The applications of high-rate algal ponds (HRAPs) and algal turf scrubber (ATS)**. Journal of Environmental Management Vol. 269; P.p 113-193 Out. 2021

LOBBAN, C.S. & HARRISON, P.J. **Seaweed ecology and physiology**. © Cambridge University Press 1997 [S.I.]:.

LUO, M. B.; LIU, F.; XU, Z. L. **Growth and nutrient uptake capacity of two co-occurring species, Ulva prolifera and Ulva linza**. Aquatic Botany, v. 100, p. 18–24, jul. 2012.

MACEDO, C.F. & TAVARES, L.H. **Eutrophication and Water Quality in fish Farms: Consequences and Recommendations**. Boletim do Instituto de Pesca, vol. 36, P.p. 149-163. 2010

MAGAROTTO, M.G.; COSTA, M.F.; MASANET, E. **Crescimento urbano em zonas costeiras**. Cadernos de estudos sociais. v.36, n.1, 2021

MANTRI, V. A. et al. **Concise review of green algal genus Ulva Linnaeus**. Journal of Applied Phycology, v. 32, n. 5, p. 2725–2741, 26 jun. 2020.

MARINHO-SORIANO, E. et al. **Frontiers on algae bioactive compounds**. Revista Brasileira de Farmacognosia [S.I.]: Abr. 2021

MARTINI, F. A. et al. **Periphytic biomass composition and exploitation from algae turf scrubber system**. SN Applied Sciences, v. 1, n. 7, 22 jun. 2019.

MARTINS, C. D. L. et al. **The impact of coastal urbanization on the structure of phyto-benthic communities in southern Brazil.** Marine Pollution Bulletin, v. 64, n. 4, P.p. 772–778, abr. 2012.

MASSOCATO et al. **Growth, biofiltration and photosynthetic performance of *Ulva* spp. cultivated in fishpond effluents: An outdoor study.** Frontiers in Marine Science, v. 9, 2 set. 2022. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.981468>

MULBRY W, KONRAD S, PIZZARO C, Kebede-Westhead E. **Treatment of dairy manure effluent using freshwater algae: Algal productivity and recovery of manure nutrients using pilot-scale algal turf scrubbers.** Bioresource Technology, Volume 99; P.p. 8137-8142, 2008 <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.03.073>.

NARDELLI, A. E. et al. **Integrated multi-trophic farming system between the green seaweed *Ulva lactuca*, mussel, and fish: a production and bioremediation solution.** Journal of Applied Phycology, v. 31, n. 2, p. 847–856, 23 jul. 2018.

NEORI, A. et al. **A novel three-stage seaweed (*Ulva lactuca*) biofilter design for integrated mariculture.** Journal of Applied Phycology, v. 15, n. 6, p. 543–553, nov. 2003.

NEORI, A. et al. **Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture.** Aquaculture, v. 231, n. 1-4, p. 361–391, mar. 2004.

NEORI, A. et al. **Seaweed biofilters as regulators of water quality in integrated fish-seaweed culture units.** Aquaculture, v. 141, n. 3-4, p. 183–199, 31 mai. 1996.

NIXON, S. W. Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. Ophelia, v. 41, n. 1, p. 199–219, 1995.

OLIVEIRA, W. S., et al. **Modelling bioremediation of contaminated effluents by *Ulva ohnoi*. – A predictive perspective.** Environmental Pollution, 347. Abr. 2024.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123689>

p. 1163–1172, 1 jul. 2001.

PETALA, M. et al. **Toxicological and ecotoxic impact of secondary and tertiary treated sewage effluents.** Water Research, v. 43, n. 20, p. 5063–5074, dez. 2009.

PHANG, SM., CHU, WL., RABIEI, R. (2015). **Phycoremediation.**em Sahoo, D., Seckbach, J. (eds) The Algae World. Cellular Origin, Life in Extreme Habitats and Astrobiology, vol 26. Springer, Dordrecht.
https://doi.org/10.1007/978-94-017-7321-8_13

PRIYA, M. et al. **Microalgae in Removal of Heavy Metal and Organic Pollutants from Soil.** Microbial Biodegradation and Bioremediation, p. 519–537, 2014.

REVILLA-LOVANO, S. et al. **Physiological responses and productivity of the seaweed *Ulva ohnoi* (Chlorophyta) under changing cultivation conditions in pilot large land-based ponds.** Algal Research, v. 56, p. 102316, jun. 2021.

REVILLA-LOVANO, S. et al. **Physiological responses and productivity of the seaweed *Ulva ohnoi* (Chlorophyta) under changing cultivation conditions in pilot large land-based ponds.** Algal Research, v. 56, p. 102316, jun. 2021.

RICCARDI, N.; SOLIDORO, C. **The Influence of Environmental Variables on *Ulva rigida* C. Ag. Growth and Production.** Botanica Marina, v. 39, n. 1-6, 1996.

RYTHER, J. H.; & OFFICER, C. B. **Secondary Sewage Treatment Versus Ocean Outfalls: An Assessment.** Science Vol 197, 1056-1060

SALVI, Kely Paula et al. **A new model of Algal Turf Scrubber for bioremediation and biomass production using seaweed aquaculture principles.** Journal of Applied Phycology, v. 33, n. 4, p. 2577-2586, 2021

SEBÖK, S.; HANELT, D. **Cultivation of the brackish-water macroalga *Ulva lactuca* in wastewater from land-based fish and shrimp aquacultures in Germany.** *Aquaculture*, p. 739463, mar. 2023.

SHPIGEL, M. et al. ***Ulva lactuca* biofilter from a land-based integrated multi trophic aquaculture (IMTA) system as a sole food source for the tropical sea urchin *Tripneustes gratilla elatensis*.** *Aquaculture*, v. 496, p. 221–231, nov. 2018.

SIEGEL, D. A. **Resource competition in a discrete environment: Why are plankton distributions paradoxical?** *Limnology and Oceanography*, v. 43, n. 6, p. 1133–1146, set. 1998.

SILVA, A.R. & FONSECA, A.L.D'O **Eutrofização dos recursos hídricos como ferramenta para a compreensão das doenças de veiculação hídrica.** *Geosul*, Florianópolis, v. 31, n. 62, p 247-270, jul./ago. 2016

SILVA, Ana Gabriela Itokazu Canzian da. **Implantação e avaliação de um Algal Turf Scrubber para remoção de nutrientes.** 2018. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia e Biociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

SODE, S. et al (2013). **Bioremediation of reject water from anaerobically digested waste water sludge with macroalgae (*Ulva lactuca*, Chlorophyta).** *Bioresource Technology*, Vol.146, P.p 426–435.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.06.062>

STEWART, E.A. **Algal Turf Scrubber® (ATS™) history and application for low nutrient applications.** HydroMentia, Inc. out. 2004

TSAGKAMILIS, P. et al. **Removal of phosphate by the green seaweed *Ulva lactuca* in a small-scale sewage treatment plant (los Island, Aegean Sea, Greece).** *Journal of Applied Phycology*, v. 22, n. 3, p. 331–339, 30 jul. 2009.

TUNDISI, J.G. **Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado.** *Gestão das águas*. P.p. 31-33 [S.I.]..

UNITED NATIONS. The 17 Sustainable Development Goals. Disponível em: <https://sdgs.un.org/goals>.

VAN ALSTYNE, K. L., NELSON, T. A., & RIDGWAY, R. L. **Environmental chemistry and chemical ecology of “Green Tide” seaweed blooms**. Integrative and Comparative Biology, Vol. 55(3), P.p. 518–532. 2015. <https://doi.org/10.1093/icb/icv035>

VAN ALSTYNE, K. L.; NELSON, T. A.; RIDGWAY, R. L. **Environmental Chemistry and Chemical Ecology of “Green Tide” Seaweed Blooms**. Integrative and Comparative Biology, v. 55, n. 3, p. 518–532, 13 maio 2015.

VAN LOOSDRECHT, M. C. M. et al. **Biological phosphate removal processes**. Applied Microbiology and Biotechnology, v. 48, n. 3, p. 289–296, 26 set. 1997.

VIDALI, M. **Bioremediation. An overview**. Pure and Applied Chemistry, v. 73, n. 7,

VIDOTTI, E. C.; ROLLEMBERG, M. DO C. E. **Algas: da economia nos ambientes aquáticos à bioremediação e à química analítica**. Química Nova, v. 27, n. 1, p. 139–145, fev. 2004.

VITOUSEK, P.M. et al 1997. **Human domination of earth’s ecosystems**. Science vol 277, 494–499.

VOLESKY, B. **Detoxification of metal-bearing effluents: biosorption for the next century**. Hydrometallurgy, v. 59, n. 2, p. 203–216, 1 fev. 2001. [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(00\)00160-2](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(00)00160-2)

WANG, C. et al. **Nutrient absorption by Ulva prolifera and the growth mechanism leading to green-tides**. Estuarine, Coastal and Shelf Science Vol. 227, p. 106329–106329, 31 out. 2019.

WU, J.; YANG, Y.; LIN, J. **Advanced tertiary treatment of municipal wastewater using raw and modified diatomite.** Journal of Hazardous Materials, v. 127, n. 1-3, p. 196–203, 9 dez. 2005.

ZOU, D.; GAO, K. **The photosynthetic and respiratory responses to temperature and nitrogen supply in the marine green macroalga *Ulva conglobata* (Chlorophyta).** Phycologia, v. 53, n. 1, p. 86–94, jan. 2014.