



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PESCA

JOSÉ LUCAS DA SILVA OLIVEIRA

EFICIÊNCIA DE FLOCULANTES QUÍMICOS E NATURAIS PARA A
COLHEITA DE BIOMASSA DA MICROALGA *Scenedesmus obliquus*
CULTIVADA EM MEIO DE CULTURA PADRÃO

FORTALEZA
2025

JOSÉ LUCAS DA SILVA OLIVEIRA

EFICIÊNCIA DE FLOCULANTES QUÍMICOS E NATURAIS PARA A COLHEITA
DE BIOMASSA DA MICROALGA *Scenedesmus obliquus* CULTIVADA EM MEIO
DE CULTURA PADRÃO

Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Engenharia de Pesca, do
Centro de Ciências Agrárias, da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do Título de Engenheiro de Pesca.

Orientadora: Profa. Dra. Kelma Maria dos
Santos Pires Cavalcante

Coorientadora: Me. Kelly Lima de Oliveira

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- O47e Oliveira, José Lucas da Silva.
 Eficiência de flocculantes químicos e naturais para a colheita de biomassa da microalga *Scenedesmus obliquus* cultivada em meio de cultura padrão / José Lucas da Silva Oliveira. – 2025.
 35 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Engenharia de Pesca, Fortaleza, 2025.
 Orientação: Profa. Dra. Kelma Maria dos Santos Pires Cavalcante.
 Coorientação: Profa. Ma. Kelly Lima de Oliveira.
1. Chlorophyta. 2. Colheita de biomassa. 3. Flocculante. 4. Lipídios. I. Título.
- CDD 639.2
-

JOSE LUCAS DA SILVA OLIVEIRA

EFICIÊNCIA DE FLOCULANTES QUÍMICOS E NATURAIS PARA A
COLHEITA DE BIOMASSA DA MICROALGA *Scenedesmus obliquus*
CULTIVADA EM MEIO DE CULTURA PADRÃO

Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Engenharia de Pesca, do
Centro de Ciências Agrárias, da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do Título de Engenheiro de Pesca.

Aprovada em 27/09/2024.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Kelma Maria dos Santos Pires Cavalcante (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. José William Alves da Silva
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

M.e Daniel Vasconcelos da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.
À minha mãe e ao meu
pai. Aos meus irmãos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, sem ele não teria conseguido.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de iniciação científica, e por seu papel essencial no incentivo à pesquisa científica no Brasil.

À Profa. Dra. Kelma Maria dos Santos Pires Cavalcante, pela amizade e carinho, pelo exemplo de profissional e excelente orientação.

Ao Prof. Dr. José William Alves da Silva, pelo exemplo de profissional, apoio e por me mostrar o universo das microalgas.

Aos membros participantes da Banca examinadora, Prof. Dr. José William Alves da Silva e o Mestre Daniel Vasconcelos da Silva, pelas considerações.

À Prof. Dra. Mona Lisa Moura, da Universidade Estadual do Ceará, pelo apoio financeiro, pelos exemplos de profissional e pesquisadora.

À Dra. Kelly Lima de Oliveira, por acreditar no meu potencial, pela amizade, pelo carinho, pelo exemplo de profissional e pela excelência na coorientação.

À minha família, pelo amor, garra, fé e por sempre me apoiarem. À minha sobrinha Luiza Melo por todo amor e carinho

Ao meu afilhado Juan Caleb por todo amor, carinho e curiosidade pela área.

Às minhas amigas de trabalho Kelly Lima (B2), Devany Quintela (B1) e Egídia por todo apoio, carinho, amor, companheirismo e por acreditarem em mim.

À Dévany Quintela por sempre me apoiar, pelo cafezinho para aliviar a pressão do processo.

As minhas amigas do IFCE Aline Cassia e Sanny Stephanie por sempre me apoiar, me incentivar e estar comigo em todas as horas.

Aos colegas de laboratório de Planctologia (UFC) por todo apoio e amizade.

Às colegas do laboratório Tecnologia Aquícolas, Ana Claudia, Ilana Beatriz, Suzana Félix por me ensinarem sobre microalgas e pela experiência vivida.

À minha melhor amiga Natalia Alves, por sempre me apoiar, me escutar, me incentivar e me fazer acreditar em mim mesmo.

A mim por seguir firme nessa caminhada sempre buscando aprender.

Aos meus amigos que sempre me apoiaram nessa jornada, sempre me incentivando a continuar e me dando força.

“Mas tu não deves esquecer. Tu te tornas eternamente responsável por aquilo que cativas.”

O Pequeno Príncipe - Antoine de Saint-Exupéry

RESUMO

As microalgas vêm ganhando cada vez mais destaque no setor de biotecnologia pois apresentam versatilidade e potencial para a geração de produtos de alto valor agregado, devido sua alta taxa de crescimento, diversidade metabólica, possibilidade de cultivo em diferentes ambientes e fixação de carbono. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de floculação da microalga *Scenedesmus obliquus* com diferentes flocculantes e determinar o teor de lipídios. O cultivo foi realizado em triplicata em reatores de polietileno de 20 L e volume útil de 12 L, utilizando meio padrão Guillard f/2, com aeração e iluminação constantes. O crescimento algal foi monitorado durante 7 dias por espectrofotometria ($\lambda = 680 \text{ nm}$) e contagem celular em câmara de Neubauer. Para a recuperação da biomassa de *S. obliquus* foram utilizados quatro tipos de flocculantes, dois naturais quitosana (1 g L^{-1}) e moringa (10 g L^{-1}) e dois químicos hidróxido de sódio ($0,5 \text{ M}$) e cloreto de ferro III (1 g L^{-1}). O teor de lipídios foi determinado pela metodologia de Bligh-Dyer. Hidróxido de sódio foi o flocculante que apresentou maior eficiência (99,42 %), seguido da Quitosana (98,64%), cujos os rendimentos de biomassa foram iguais a 177 g L^{-1} e 170 g L^{-1} , respectivamente. O teor de lipídio na biomassa recuperada com NaOH ($0,5 \text{ M}$) foi de 5,0 % e com moringa 11,0%. Os flocculantes mais eficientes foram o hidróxido de sódio e a quitosana.

Palavras-chave: chlorophyta; colheita de biomassa; flocculante; lipídios.

ABSTRACT

Microalgae have been gaining increasing prominence in the biotechnology sector because they present versatility and potential for the generation of high added value products, due to their high growth rate, metabolic diversity, possibility of cultivation in different environments and carbon fixation. Therefore, the present study aimed to evaluate the flocculation efficiency of the microalga *Scenedesmus obliquus* with different flocculants and to determine the lipid content. The cultivation was carried out in triplicate in 20 L polyethylene reactors with a useful volume of 12 L, using standard Guillard f/2 medium, with constant aeration and lighting. Algal growth was monitored for 7 days by spectrophotometry ($\lambda = 680$ nm) and cell counting in a Neubauer chamber. Four types of flocculants were used to recover *S. obliquus* biomass: two natural flocculants, chitosan (1 g L^{-1}) and moringa (10 g L^{-1}), and two chemical flocculants, sodium hydroxide (0.5 M) and iron III chloride (1 g L^{-1}). The lipid content was determined by the Bligh- Dyer method. Sodium hydroxide was the most efficient flocculant (99.42%), followed by chitosan (98.64%), whose biomass yields were 177 g L^{-1} and 170 g L^{-1} . The lipid content in the biomass recovered with NaOH (0.5 M) was 5.0% and with moringa 11.0%. The most efficient flocculants were sodium hydroxide and chitosan.

Keywords: chlorophyta; biomass harvest; flocculant; lipids.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Morfologia da microalga <i>Scenedesmus obliquus</i>	15
Figura 2 -	Reatores com cultivo da microalga <i>Scenedesmus obliquus</i>	21
Figura 3 -	Estado da cultura <i>Scenedesmus obliquus</i> após 24 horas de aplicações do floculantes	22
Figura 4 -	Esquema extração lipídica	23
Figura 5 -	Acompanhamento diário da absorbância ($\lambda = 680 \text{ nm}$) e crescimento (n° de células $\times 10^5$) da microalga <i>S. obliquus</i> cultivada em meio padrão Guillard f/2	24
Figura 6 -	Eficiência de floculação da biomassa da microalga <i>S. obliquus</i>	25
Figura 7 -	Rendimento da biomassa de <i>Scenedesmus obliquus</i>	26
Figura 8 -	Rendimento lipídico na biomassa da microalga <i>Scenedesmus obliquus</i> recuperada com diferentes floculantes	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Aplicações biotecnológicas das microalgas	18
Tabela 2-	Composição do meio de cultura padrão Guillard f/2 modificado	20

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVO	14
2.1	Objetivo geral	14
2.2	Objetivos específicos	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1	Microalgas	15
3.1.1	Gênero <i>Scenedesmus</i>	15
3.2	Recuperação da biomassa algal	16
3.3	Floculantes químicos	16
3.3.1	Hidróxido de sódio	16
3.3.2	Cloreto de ferro III	17
3.4	Floculantes naturais	17
3.4.1	Quitosana	17
3.4.2	<i>Moringa oleifera</i>	17
3.5	Biomassa	17
3.6	Aplicações biotecnológicas	18
4	MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1	Cultivo da microalga verde <i>Scenedesmus obliquus</i>	20
4.2	Recuperação da biomassa da microalga <i>Scenedesmus obliquus</i>	21
4.3	Determinação de lipídios na biomassa verde <i>Scenedesmus obliquus</i>	22
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1	Crescimento da microalga <i>Scenedesmus obliquus</i>	24
5.2	Recuperação da biomassa da microalga <i>Scenedesmus obliquus</i>	24
5.3	Rendimento de biomassa da microalga <i>S. obliquus</i> após a recuperação com agentes floculantes	26

5.4	Rendimento de lipídico na biomassa da microalga <i>S. obliquus</i>	27
6	CONCLUSÃO	29
	REFERÊNCIAS	30

1 INTRODUÇÃO

Microalgas são organismos microscópicos, unicelulares, fotossintetizantes, que convertem dióxido de carbono em biomassa algal. Estes organismos são capazes de sintetizar diversos compostos, tais como: proteínas, lipídios, carboidratos, pigmentos, alcaloides, flavonoides e terpenoides, que podem ter diversas aplicações biotecnológicas, seja em indústrias, cosméticos, nutrição humana e animal, biocombustíveis, dentre outras (CHUA; SCHENK, 2017; BAUMGARDT *et al.*, 2015; LIMA; PORTO; FREITAS, 2018; SILVA, 2022).

O cultivo de microalgas se dá logo após o isolamento de uma cepa, fazendo a inoculação da espécie escolhida em um meio adequado, contendo os nutrientes essenciais para sua adaptação. O cultivo, de maneira geral, é feito em um ambiente laboratorial, com meios pré-estabelecidos pela literatura, sendo realizado em um meio de cultura totalmente controlado e/ou meio alternativos (LOURENÇO, 2006). Neste ambiente, praticamente, é possível cultivar qualquer espécie de microalga, porém aquelas que apresentam ciclo de vida mais estável e que possuem altas taxas de produção de células, biomassa e lipídios são preferidas por diversos pesquisadores (HESSE, 2016; ZHU; LI; HILTUNEN, 2018; VASCONCELOS, 2022).

A microalga do gênero *Scenedesmus*, pertencente à classe das clorofíceas, que é uma espécie que apresenta um potencial significativo, em virtude de suas diversas funcionalidades. Esta microalga se destaca por sua notável capacidade de crescimento, além de manifestar diferenças formações das células e colônias, dependendo da condição de cultivo (LEE, 2008).

Ademais, cabe destacar que a microalga em questão é reconhecida por acumular quantidades significativas de lipídios, proteínas e carboidratos em suas células, fazendo com que esta apresente grande importância devido às suas propriedades nutricionais e potencial aplicação em diferentes setores, como na produção de biocombustíveis, nutracêuticos, ingredientes alimentícios, além de ser um excelente ativo nos processos de biorremediação, por exemplo na purificação de águas poluídas, destaque na agricultura e até mesmo na indústria cosmética. Sua versatilidade e facilidade de cultivo a tornam uma opção promissora para diversas aplicações biotecnológicas. (DIAS, 2022; SELESU, 2015).

A dificuldade em recuperar a biomassa algal, devido ao seu tamanho microscópico e estabilidade em relação ao meio aquoso, requer estudos e técnicas que alcancem eficiência com custos viáveis de produção. Desta forma, a principal problemática no cultivo de microalgas é justamente este processo de colheita da biomassa produzida. Por isso, diversos autores buscam

técnicas para garantir maior eficiência na recuperação de biomassa (LIU *et al.*, 2023; SILVA *et al.*, 2021).

As técnicas mais utilizadas para recuperação de biomassa algal são centrifugação, floculação, filtração, sedimentação gravitacional, dentre outras, que apresentam vantagens e desvantagens. Algumas dessas técnicas demandam alto consumo energético, o que torna o processo oneroso, por causa das dispersas quando se trata de uma produção comercial, pois tornam o produto mais caro. (UDUMAN *et al.*, 2010; CHEN *et al.*, 2011; CHEN *et al.*, 2013; SELESU, 2015).

O procedimento de floculação surge como uma abordagem promissora para superar essas dificuldades, sendo crucial na recuperação de biomassa algal, oferecendo soluções eficazes, já que, ocorre através da neutralização das cargas superficiais das células, que nas microalgas em sua maioria são negativas, característica que as mantém dispersas no meio aquoso. Com a adição do agente floculante ocorre a interação entre as cargas positiva do floculante e as negativas da microalga. Na etapa inicial do processo denominada de desestabilização, o floculante neutraliza as cargas da células, fazendo com que estas percam sua estabilidade e se aglomerem; posteriormente acontece a nucleação, na qual pequenos aglomerados começam a se formar, para então ocorrer a coalescência, através de união de aglomerados menores, formando flocos maiores e mais denso, e por fim ocorre a sedimentação, na qual os flocos se sedimentam no fundo do recipiente, facilitando a separação do meio líquido (ROSELET, 2015).

Resumidamente, a floculação consiste na aglutinação das células formando flocos maiores para facilitar o processo de sedimentação. Muitos fatores podem influenciar este processo, tais como: pH, tempo de contato com o floculante, concentração do floculante e agitação para homogeneização do floculante com o meio. Este procedimento é considerado uma etapa crítica na recuperação da biomassa algal e sua posterior conversão em produtos de alto valor agregado, como os lipídios, por exemplo.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Avaliar a eficiência de floclulantes na colheita de biomassa da microalga *Scenedesmus obliquus* cultivada em meio de cultura padrão.

2.2 Objetivos específicos

Determinar a produtividade de biomassa seca da microalga obtida por diferentes floclulantes.

Avaliar a eficiência em floclulação em comparação com tempo de ação.

Avaliar o rendimento de lipídio da microalga após o uso dos floclulantes.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Microalgas

As microalgas são organismos microscópicos, consideradas uma das formas mais antigas de vida na Terra, encontradas em diversos ambientes, principalmente em ecossistemas aquáticos onde desempenham um papel importante. São conhecidas por sua alta capacidade de realizar fotossíntese, processo pelo qual convertem a energia solar em energia química, produzindo oxigênio como subproduto (LOURENÇO, 2006; GOSWAMI; AGRAWAL; VERMA, 2022; HARTULISTIYOSO *et al.*, 2024).

As microalgas possuem capacidade de produzir grandes variedades de compostos, tais como ácidos graxos polinsaturados, carotenoides, ficobilinas, polissacarídeos, vitaminas esteróis, antioxidantes, redutores do colesterol. Logo, são muito utilizadas em trabalhos e pesquisas, por conta de seu considerável potencial de aplicações em diversas áreas como na nutrição, na saúde animal e humana, no tratamento de efluentes, águas residuais, na produção de energia e na obtenção de compostos de interesse das indústrias alimentar, química e farmacêutica. (OLIVEIRA *et al.*, 2013; RIZWAN *et al.*, 2018).

3.1.1 Gênero *Scenedesmus*

O gênero *Scenedesmus* é normalmente encontrado no plâncton de águas doces e com menor frequência em águas salobras. São células clorofiladas, unicelulares, formadoras de colônias, que podem ser chamadas de cenóbios, contêm 2, 4, 8, 16 e até 32 células (Figura 1). As células podem ser globosas, elipsoides, piriformes ou lunadas (BICUDO; MENEZES, 2006).

Figura 1. Morfologia da microalga *Scenedesmus obliquus*



Fonte: Autor (2024).

As espécies do gênero *Scenedesmus* desempenham um papel importante na biotecnologia, devido ao seu rendimento de biomassa algal, sendo utilizadas na biorremediação

de águas residuais, acumulação lipídica e na captura de CO₂ (DIAS *et al.*, 2019; COSTA *et al.*, 2020; TANG *et al.*, 2011). A biomassa de *Scenedesmus obliquus* é bastante utilizada na extração de energia (HAN *et al.*, 2019).

3.2 Recuperação de biomassa algal

Para a recuperação de biomassa algal do meio de cultura, segundo Hesse (2016), a centrifugação e a eletroflotação são os processos em que a colheita de biomassa é mais eficiente, todavia são os processos com maior consumo energético. Outra técnica que pode ser utilizada é a filtração por membranas, na qual pode-se utilizar microfiltração; ultrafiltração; nanofiltração, osmose reversa, filtros de areia e diatomita, para separar a biomassa do meio de cultura, porém este método só é eficiente para algumas microalgas, pois depende do tamanho das partículas que serão filtradas, como também a utilização de pressão para a recuperação algal com ajuda da bomba a vácuo que faz a junção do filtro com a pressão.

A sedimentação é um processo lento, que utiliza a gravidade para decantar a biomassa no fundo para posterior obtenção. A floculação é o processo em que se adicionam substâncias flocculantes para formação de flocos e, posteriormente, sedimentação da biomassa no fundo (HANASHIRO *et al.*, 2018).

O processo de recuperação de biomassa algal é um dos grandes gargalos para a produção em larga escala em virtude do seu alto custo para obtenção de biomassa. Por isso, vários estudos apontam como uma alternativa o método de floculação, uma vez que o método combina a floculação e a sedimentação e tem um menor custo, sem o gasto energético da centrifugação (HESSE, 2016, 'T LAM *et al.*, 2014; SALIM; VERMUEË; WIFFELS, 2012).

3.3 Flocculantes químicos

3.3.1 Hidróxido de sódio

O hidróxido de sódio (NaOH) é o agente flocculante mais utilizado em microalgas, por ter propriedades alcalinas que têm eficiência na floculação. De acordo com alguns trabalhos, esta substância pode ser utilizada em diferentes molaridades (0,5; 1 e 2 M) para recuperação de biomassa algal (SILVA, 2022; SILVA *et al.*, 2021).

3.3.2 Cloreto de Ferro III

O cloreto de ferro III se dissolve em água, sofre uma hidrólise e libera calor através da reação exotérmica. O resultado é uma solução ácida que é utilizada como coagulante/floculante em águas, o que potencializa a recuperação de biomassa algal (DEL CINCA, 2016; HESSE, 2016).

3.4 Floculantes naturais

3.4.1 Quitosana

Polissacarídeo derivado da quitina que apresenta características bioativas, não tóxico, biodegradável, com atividade antibacteriana, além de ser abundante na natureza. Por isso, vários estudos mostram que quitosana se torna um agente floculante natural promissor para microalgas (ISLAM *et al.*, 2017; KUMARAN; SINGH; JOSEPH, 2021; LUBIÁN, 1989; ŞIRIN *et al.*, 2012; XU; PURTON; BAGANZ, 2013; YIN *et al.*, 2021)

3.4.2 *Moringa oleifera*

Moringa oleifera é uma árvore que pode ser encontrada em países de clima tropical, onde suas folhas, sementes e flores podem ser utilizadas em diferentes processos. As sementes da moringa possuem propriedades coagulantes, podendo ser utilizadas para purificar águas e como coagulante/floculantes em microalgas (DIAS, 2022).

De acordo com Hamid *et al.* (2016), moringa apresenta eficiência como floculante para microalgas, pois neutraliza as cargas da parede celular da microalga, favorecendo a formação de flocos e a sedimentação das células. Por ser um floculante natural e de fácil acesso, se tornar bastante eficaz no processo de floculação algal, por não contaminar a biomassa quimicamente.

3.5 Biomassa

A produção de biomassa de microalgas pode ser realizada em diversos sistemas, com variação de volume indo de mililitros até bilhões de litros. Diversos cientistas vêm visando a utilização de biomassa algal por apresentarem uma enorme versatilidade para diversos fins como: indústria alimentícia, tratamento de efluente, energias renováveis, indústrias do setor humano e animal e produção de biocombustíveis (PENG *et al.*, 2020).

Biomassas algais e seus extratos estão ganhando visibilidade no mercado mundial por conterem diversas substâncias com efeitos antioxidantes, ácidos graxos poli-insaturados (PUFA), proteínas imunologicamente efetivas e compostos virostáticos (ANDRADE; COLOZZI FILHO, 2014; MORAES, 2023).

3.6 Aplicações biotecnológicas

As microalgas são organismos considerados promissores e com alto potencial biotecnológico para diversas aplicações (Tabela 1) (RANDHIR *et al.*, 2020; VARANDAS, 2020).

Tabela 1 - Aplicações biotecnológicas de microalgas.

Produtos	Aplicações	Referências
Alimentos	Suplemento proteico/fortificação de dieta de crianças e adultos desnutridos.	HLAING; SADIQ; ANAL, 2020
Alimentação animal	Suplemento de proteínas e vitaminas para peixes; aves e frutos do mar	AMORIM <i>et al.</i> , 2021
Terapia	Produção de pigmentos para tratamentos de câncer. Regulação da síntese de colesterol. Produção de antibiótico	BARCELOS, 2023
Pigmentos	Produção de pigmentos para indústria alimentícia e reagentes analíticos.	MITRA <i>et al.</i> , 2021
Combustíveis	Extração de lipídios para produção de biocombustíveis: biodiesel, hidrogênio, biogás.	LIMA, 2021
Hormônios	Auxinas, giberelinas.	MANSOURI; HAJIZADEH, 2018
Outros	Condicionador de solos. Tratamento de efluentes: bovino, suíno, doméstico e industrial	SOARES, 2024 / MORAES, 2023

As microalgas podem ser utilizadas como ingredientes para aumentar o valor nutricional dos alimentos, afetando de forma positiva a saúde humana, aprimorando o bem-estar e a qualidade de vida e reduzindo os riscos (MATOS *et al.*, 2017; VARANDAS 2020). Devido ao seu rico perfil nutricional, com proteínas, carboidratos, lipídios, vitaminas e antioxidantes, as microalgas podem ser utilizadas em rações animais, substituindo parcialmente produtos de origem animal (DINESHBABU *et al.*, 2019).

Na produção de biocombustíveis, é utilizado plantio de milho, batata e trigo como fonte energética, existindo um colapso em relação às questões ambientais e econômicas direcionadas ao uso de terras férteis e plantas comestíveis para essas aplicações. As microalgas vêm ganhando destaque nessas questões éticas e sociais, que podem ser cultivadas em terras não agricultáveis (DE PAULA; CHAGAS; MENDONÇA, 2023). Além disso, recebem atenção por serem sustentáveis e de fácil cultivo, que pode ser feito em áreas que não competem com agricultura, utilizando águas de reuso como meio alternativos, incorporados com a produção de outros bioprodutos como bioetanol, hidrogênio verde, combustível sustentáveis para aviação, biorrefinaria, digestão anaeróbica e no tratamento de águas residuais e produtos de alto valor agregado (ALI *et al.*, 2021; JANKOWSKA; SAHU; OLESKOWICZ-POPIEL, 2017).

Além do mais, vale destacar a incorporação da espécie *S. obliquus* para a produção de biocombustíveis da terceira geração, com o processo de transesterificação, seus lipídios podem ser convertidos em biodiesel, sendo considerado como vantagens associados ao cultivo de microalgas, devido ao seu rápido crescimento, facilidade de adaptação e modulação da cepas, para obtenção de uma produtividade com altos teores de biodiesel quando é comparada com as fontes vegetais tradicionais (LIMA, 2021).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Cultivo da microalga verde *Scenedesmus obliquus*

O experimento foi realizado no Laboratório de Planctologia do Centro de Biotecnologia Aplicada à Aquicultura, da Universidade Federal do Ceará.

A cepa de microalga verde *Scenedesmus obliquus* foi proveniente do banco de cepas do Laboratório de Planctologia e submetida à propagação em meio padrão Guillard f/2 modificado (GUILLARD, 1975), cuja formulação está apresentada nas Tabelas 2, partindo de 5 mL, duplicado o volume a cada três dias até atingir o volume 12 L de inóculo. Quando o volume da propagação atingiu 1 L, a cultura foi suprida com aeração constante, com fluxo de ar de 3 L min⁻¹ e fotoperíodo de 24 horas de luz, fornecida por lâmpadas LED de 18W e iluminância de 5.000 lux.

Tabela 2. Composição do meio de cultura Guillard f/2 modificado

Solução	Reagente	Solução estoque (g L ⁻¹)	Volume (mL L ⁻¹)
I	Nitrato de sódio	75	1
II	Fosfato de sódio	5	1
III	Silicato de sódio	30	1
IV	Vitaminas	*	0
V	Metais Traço	**	1,0

Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado de Lourenço (2006).

*Para solução de vitaminas foi utilizado um par de ampolas do composto vitamínico Citoneurin 5000 (B1 e B6, 100 mg e B12 5000 g) em 50 mL de água destilada previamente autoclavada (MORAES, 2023).

O cultivo foi realizado em triplicata em reatores de polipropileno (Figura 2) com capacidade de 20 L e volume útil de 12 L, nas mesmas condições de propagação da cepa, no que se refere ao meio de cultura e parâmetros de intensidade luminosa e aeração. Foi utilizado a proporção de 1:1 (inóculo:meio). A temperatura foi mantida em 27,2 °C.

Figura 2. Reatores com cultivos da microalga *Scenedesmus obliquus*.



Fonte: Autor (2024).

O crescimento microalgal foi monitorado, diariamente, através de contagem do número de células, de uma amostra previamente fixada com lugol, em um hemocitômetro (Câmara de Neubauer) utilizando um microscópio óptico (OLYMPUS BX-40). Antes da fixação da amostra, foi mensurada a absorbância da cultura ($\lambda = 680 \text{ nm}$) em espectrofotômetro (HACH DR 2000).

4.2 Recuperação da biomassa da microalga verde *Scenedesmus obliquus*

Para a recuperação da biomassa da microalga verde *S. obliquus* foram testados quatro flocculantes, dois químicos, NaOH 0,5 M e cloreto de ferro III (FeCl_3), e dois biológicos (Quitosana e Moringa).

O hidróxido de sódio foi pesado (20 g) e diluído em 1 L de água destilada, resultando uma solução de 0,5 M. O cloreto de ferro III foi dissolvido na concentração de 1 g L^{-1} em água destilada, utilizando agitador magnético para a completa solubilização da mistura, em temperatura ambiente. A quitosana em pó foi dissolvida na concentração 1 g L^{-1} em ácido acético (1%), também empregando agitação magnética para a solubilização total da mistura, à temperatura ambiente (HESSE, 2016). As sementes de moringa foram coletadas e conduzidas até laboratório, onde foram descascadas, trituradas e desidratadas em estufas com recirculação de ar a 100 °C por 6 horas. O pó foi peneirado, para obtenção de uma granulometria de

aproximadamente 300 µm. Para a preparação da solução, foram pesados 10 g de Moringa em pó, em seguida foi adicionado 1 L de água destilada homogeneizou-se a solução por agitação magnética até completa dissolução (NASCIMENTO, 2019). Todos os flocculantes foram utilizados na proporção de 6:100 (flocculantes:meio de cultura). Após a adição da solução de flocculante, foi realizada agitação por 1 min e esperado o tempo 24 h para que ocorresse a sedimentação da biomassa.

Depois da separação em duas fases, como demonstrado na Figura 3, foi realizado o sifonamento do sobrenadante e posteriormente a lavagem da biomassa decantada em água corrente com o mesmo volume retirado, repetindo o processo duas vezes. A biomassa úmida foi desidratada em estufa com recirculação de ar a 60 °C por 24h.

Figura 3. Estado da cultura de *Scenedesmus obliquus* após 24 horas de aplicação dos flocculantes.



Fonte: Autor (2024).

Para o cálculo de Eficiência de Flocculação (EF), foi retirada uma alíquota de cada reator, antes da flocculação, é realizada a leitura de absorbância inicial em 680 nm (ABS I). Decorridos 24 h da adição do flocculante, uma nova amostra de cada reator foi coletada e a absorbância (680 nm) mais uma vez mensurada (ABS F), e o cálculo de EF procedido utilizando a equação:

$$EF = \frac{ABS\ I - ABS\ F}{ABS\ I} \times 100 \quad 1)$$

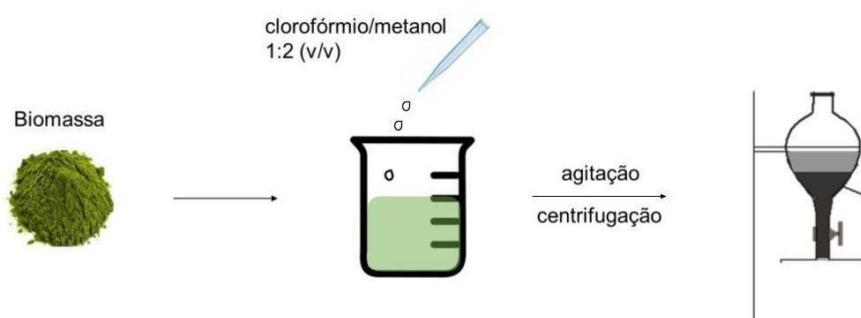
4.3 Determinação de lipídios na biomassa da microalga verde *Scenedesmus obliquus*

A extração lipídica foi adaptada de Martins (2014), que utilizou o método Bligh e Dyer (1959), com a combinação de clorofórmio e metanol na proporção 1:2.

A biomassa seca (0,5 g) foi hidratada com 2 mL de água destilada e em seguida

foram adicionados 7,5 mL de clorofórmio:metanol (1:2), seguido por agitação manual por 3 min. Posteriormente, foram adicionados 10 mL de solução de sulfato de sódio anidro 1,5% e 2,5 mL de água destilada, e novamente, agitado manualmente por 30 s. Para promover a separação da fase sólida, o extrato foi centrifugado por 10 min a 4.500 rpm e o sobrenadante transferido para um funil de separação, no qual a fase orgânica (inferior) foi coletada em vidraria previamente seca em estufa a 60 °C até peso constante (Figura 4).

Figura 4. Esquema da extração lipídica.



Fonte: Autor (2024).

Para calcular o teor de lipídios final foi utilizado os valores da vidraria seca em estufa, o peso de biomassa utilizada no processo e o valor da vidraria com amostra seca em estufa após 24 h, conforme equação abaixo:

$$L (\%) = 100 \times \frac{\text{Peso vidraria seca} - \text{Peso vidraria com amostra seca}}{\text{Peso da biomassa seca}} \quad (2)$$

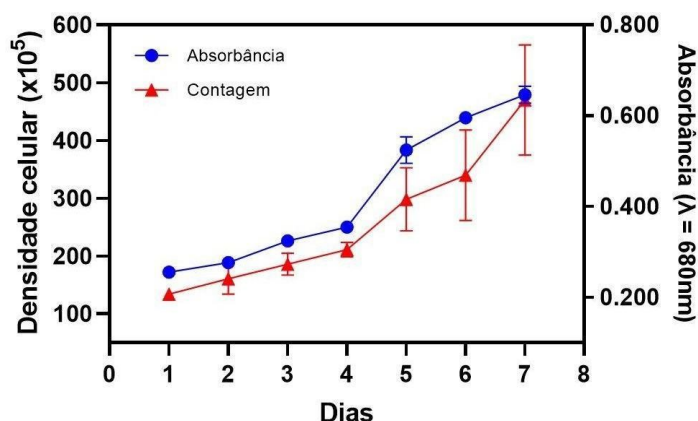
Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) simples ($\alpha=0,5$) e teste de Tukey.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Crescimento da microalga *Scenedesmus obliquus*

O crescimento da microalga *S. obliquus* cultivada em meio padrão Guillard f/2 está representado nas Figura 5, que mostra o comportamento do cultivo ao longo de 7 dias, em que a densidade celular (concentração inicial de $1,3 \times 10^5$ células mL^{-1}) atingiu seu valor máximo no 7º dia de cultivo ($4,4 \times 10^5$ células/mL), coincidindo com o final da fase exponencial de crescimento. Este comportamento é reforçado com o acompanhamento da densidade óptica.

Figura 5. Acompanhamento diário da absorvância ($\lambda = 680 \text{ nm}$) e crescimento (n° de células $\times 10^5$) da microalga *S. obliquus* cultivada em meio padrão Guillard f/2.



Fonte: Autor (2024).

Soares (2024) comparou o crescimento da microalga *Scenedesmus obliquus* em meio padrão Guillard f/2, no qual a fase estacionária foi no décimo dia de cultivo, enquanto no presente trabalho, a fase estacionária teve início no 7º dia, que foi o último dia de estudo.

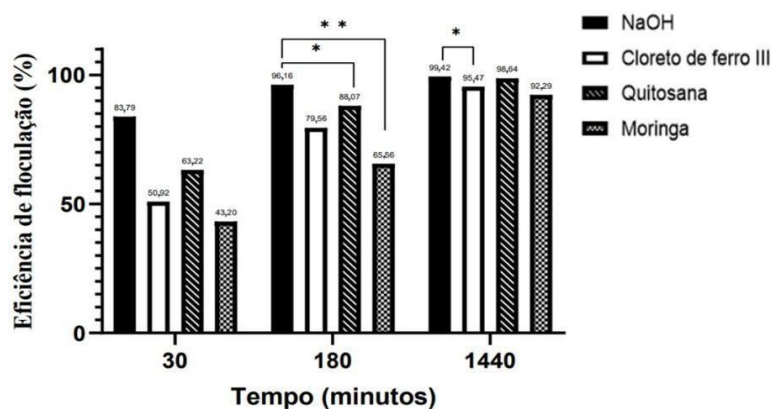
5.2 Recuperação da biomassa da microalga *Scenedesmus obliquus*

Após o cultivo da microalga *S. obliquus* em meio padrão f/2 Guillard a biomassa foi recuperada utilizando diferentes floclulantes. A Figura 8 apresenta os resultados da eficiência de floclulação em diferentes com os agentes floclulantes testados.

Com 30 minutos de floclulação, o agente mais efetivo no processo foi o hidróxido

de sódio, que recuperou 83,79% da biomassa do meio. Os outros flocculantes apresentaram eficiência de 50,92 % (cloreto de ferro III), 63,22 % (quitosana) e 43,290 % (moringa). Após três horas de reação, NaOH, já havia recuperado mais de 90% da biomassa, onde houve diferença significativa entre o NaOH (96,16%) e quitosana (88,07%) e NaOH (96,16) e moringa (65,56%). Com 24 horas, o NaOH alcançou 99,42%, havendo diferença significativa entre o NaOH (99,42%) e cloreto de ferro III (95,47) e os flocculantes naturais quitosana (98,64%) e moringa (92,29%) (Figura 6).

Figura 6. Eficiência de floculação da biomassa da microalga *Scenedesmus obliquus* tratada com diferentes flocculantes.



Fonte: Autor (2024).

Ao avaliar a eficiência de flocculantes químicos, Hesse (2016) obteve resultados com cloreto de ferro e sulfato de ferro com uma eficiência de 85% para ambos após 30 minutos, resultado 10% inferior ao deste trabalho. Ao utilizar quitosana os valores de eficiência foram próximos de 100%, bastante semelhantes após 3h da adição do flocculante.

De acordo com Sirin *et al.* (2012), é necessário verificar não apenas a eficiência do agente flocculante, mas também a viabilidade para posterior utilização da biomassa. Sais metálicos, como o sulfato de alumínio, sulfato de ferro e cloreto de ferro, contaminam a biomassa algal recuperada (HANSEL, RIEFLET, STUART, 2014; HESSE, 2016). Portanto, em seu estudo, Sirin *et al.* (2012) utilizaram quitosana como flocculante natural para minimizar possíveis contaminações nos processos posteriores e obtiveram resultados satisfatórios. O agente flocculante deve ser atóxico e eficiente em baixas concentrações, para que permita a reciclagem do meio de cultivo e não comprometa a qualidade do produto final proveniente da biomassa algal (UDUMAN *et al.*, 2010).

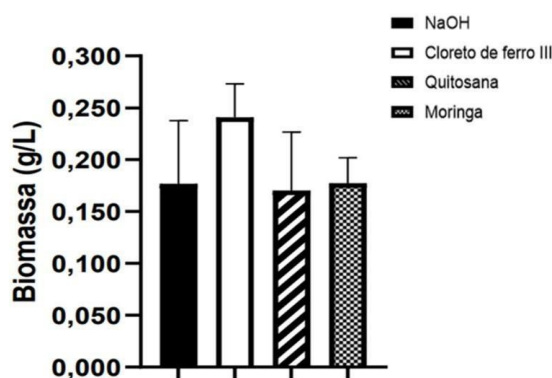
Nascimento (2019) obteve uma eficiência de floculação com moringa de 71 a 78% com alteração no pH, e o presente trabalho alcançou uma eficiência de 43,20 % em 30 min, 65,56 % em 180 min, 92,29 % em 1440 min de descanso após a adição do floculante, sem variação de pH.

Desta forma, foi possível observar a relevância de uso dos agentes floculantes naturais para recuperação de biomassa de microalgas. Esses agentes são tão eficientes quanto os floculantes comercialmente conhecidos como hidróxido de sódio e cloreto de ferro III. Além disso, não são tóxicos, não contaminam a biomassa.

5.3 Rendimento de biomassa da microalga *S. obliquus* após a recuperação com agentes floculantes

Os resultados de rendimento de biomassa estão expressos na Figura 7, onde não houve diferença significativa. Foi possível observar que o floculante químico cloreto de ferro III rendeu 0,242 g/L de biomassa. Todos os demais apresentaram valores variando entre 0,170 g/L (com quitosana) e 0,177 g/L (com moringa e NaOH).

Figura 7. Rendimento de biomassa de *Scenedesmus obliquus*.



Fonte: Autor (2024).

Silva *et al.* (2021) avaliaram o rendimento da biomassa da microalga *Chlorella vulgaris* com os floculantes NaOH (0,136 g/L) e cloreto de ferro III (0,125 g/L), ambos na mesma molaridade (0,5 M) e com concentração de 1 mL/L, comparado com o presente estudo em que o NaOH foi 0,5 M e 60 ml/L o resultado foi superior, pois com cloreto de ferro III o resultado foi o dobro (0,242 g/L).

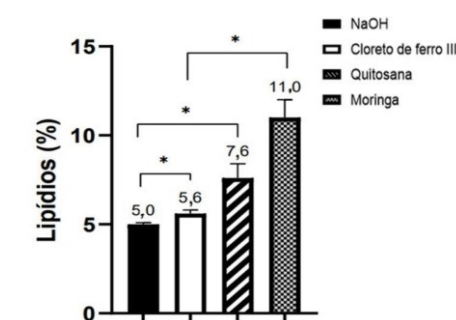
Poucos são os estudos disponibilizados em relação ao uso de flocculantes naturais em relação ao rendimento de biomassa seca final.

5.4 Rendimento lipídico da biomassa da microalga *S. obliquus*

A adição de flocculantes orgânicos e inorgânicos para recuperação de biomassa algal pode modificar sua caracterização, podendo influenciar na aplicação da biomassa. Na literatura há informações limitadas disponíveis sobre o efeito de flocculantes na extração de lipídios em microalgas. Neste estudo foi realizada a comparação dos efeitos do uso de flocculantes naturais e químicos no método de colheita de biomassa e posterior extração lipídica.

Os resultados são mostrados na Figura 8, onde o rendimento de lipídios extraídos demonstra que com o NaOH o resultado foi de 5,0 %, peso seco. Com moringa o valor foi mais que o dobro (11 %). Na floculação com cloreto de ferro III o valor foi quase semelhante ao do NaOH (5,6 %), com quitosana obteve um rendimento de 7,6 %, havendo diferença significativa entre NaOH e cloreto de ferro III, NaOH e quitosana e cloreto de ferro III e moringa. Os Lipídios são uma das matérias-primas da síntese do biodiesel (HO *et al.*, 2013; WEYER *et al.*, 2010).

Figura 8. Rendimento lipídico na biomassa da microalga *S. obliquus* recuperada com diferentes flocculantes.



Fonte: Autor (2024).

WU *et al.*, (2015) investigaram a influência dos flocculantes quitosana e NaOH no rendimento de lipídios da microalga *Scenedesmus obliquus* e quantificaram na biomassa recuperada com quitosana 26% de lipídios e 27% quando usou NaOH, valores superiores aos encontrados no presente no presente trabalho, contudo os métodos de extração lipídica

utilizados em ambos os trabalhos foram diferentes, o que pode ter influenciado no rendimento. Zhu, Li e Tunen (2018) realizaram um estudo com a microalga *Chlorella vulgaris* e compararam o efeito dos flocculantes no rendimento lipídico e obtiveram um resultado ótimo quando a biomassa foi recuperada com quitosana, tornando a quitosana um flocculante potencial para recuperação de biomassa e não prejudicando o rendimento lipídico.

Han *et al.* (2019), em um estudo sobre a influência da luminosidade da luz, com 10.000 Lux a microalga *S. obliquus* obtiveram rendimento de 23,8 % de lipídios, sendo superior à do presente trabalho no qual a luminosidade foi de 5.000 lux o valor máximo foi de 11%.

Ferreira (2021a) trabalhou com a extração lipídica da biomassa seca da *S. obliquus* submetida a três diferentes métodos de extração, com etanol o resultado foi de 1,30 e 4,40 %, com acetato de etila foi de 5,50 a 11,1 % e com hexano os resultados foram de 3,50 e 1,60 % em rendimento lipídico, quando comparado com presente trabalho que utilizou o método Bligh e Dyer (1959) o resultado variou de 5,0 a 11,0 % em rendimento.

Ferreira (2021b) otimizou a técnica de extração lipídica adotando rompimento celular ácida e mecanicamente, no qual o rendimento lipídico foi de 15,19% a 52,76 % na microalga *Scenedesmus obliquus*, no presente trabalho o valor máximo foi de 11% sendo inferior ao trabalho citado, por tanto a técnica de rompimento pode ter influenciado no rendimento lipídico.

Por esses trabalhos, verifica-se que os teores de lipídios reportados na literatura foram maiores que os encontrados neste trabalho. A forma de flocculação e método empregado para extração lipídica pode ter contribuído para essa diferença nos teores de lipídios.

6 CONCLUSÃO

A finalidade deste estudo esteve relacionada ao teste de quatro diferentes flocculantes na eficiência de recuperação de biomassas da microalga *Scenedesmus obliquus*.

Foi possível concluir que os diferentes agentes flocculantes em sua aplicação com tempo de 24 horas, foram eficientes com recuperação algal superior a 90%;

O agente flocculante que apresentou maior rendimento de biomassa foi o cloreto de ferro III;

O maior teor de lipídios foi determinado nas biomassas recuperadas com os flocculantes naturais, moringa e quitosana.

A depender da aplicação final da biomassa, alguns flocculantes podem não ser ideais para a recuperação devido à possibilidade de contaminação. Dessa forma, em pesquisas futuras, é sugerido analisar a biomassa seca para determinar a influência do flocculante na biomassa final.

REFERÊNCIAS

- ALI, S. *et al.* Resource recovery from industrial effluents through the cultivation of microalgae: A review. **Bioresource Technology**, v.337, 2021.
- AMORIM, M. L. *et al.* Pilot-scale biorefining of *Scenedesmus obliquus* for the production of lipids and proteins. *Separation and Purification Technology*, [s. l.], v. 270, p. 118775, 2021.
- ANDRADE, D. S.; COLOZZI FILHO, A. (ed.). **Microalgas de Águas Continentais Vol. 1: potencialidades e desafios do cultivo**. Lodrina: Iapar, 2014. 343 p.
- BARCELOS, A.V.T. **Impacto do consumo de microalgas à saúde humana**. 2023. 24 f. Monografia (Graduação em Nutrição) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.
- BAUMGARDT, F. *et al.* Lipid content and fatty acid profile of *Nannochloropsis oculata* before and after extraction with conventional solvents and/or compressed fluids. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 108, p. 85-95, 2015.
- BICUDO, C. E. M.; MENEZES, M. **Gêneros de Algas de Águas Continentais do Brasil, chave para identificação e descrições**. 2 ed. São Carlos: Rima, 2006.
- BLIGH, E.G.; DYER, W.J. A rapid method for total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, p.911-917, 1959.
- CHEN, C.Y. *et al.* Cultivation, photobioreactor design and harvesting of microalgae for biodiesel production: A critical review. **Bioresource Technology**, v. 102, p. 71-81, 2011.
- CHEN, L. *et al.* Optimal conditions of different flocculation methods for harvesting *Scenedesmus* sp. cultivated in an open-pond system. **Bioresource Technology**, v. 133, p.9-15 2013.
- CHUA, E.; SCHENK, P. A biorefinery for *Nannochloropsis*: induction, harvesting, and extraction of EPA-rich oil and high-value protein. **Bioresource Technology**, v. 244, part. 2, p. 1416-1424, 2017.
- COSTA, J. A. V. *et al.* **Progress in the physicochemical treatment of microalgae biomass for value-added product recovery**. **Bioresource Technology**, 2020.
- DE PAULA, S.F.A.; CHAGAS, B. M.; MENDONÇA, R.A. Utilização de microalgas para tratamento de efluentes e produção de biocombustível: uma revisão. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, [S. l.], v. 12, n. 25, p. 64-93, 2023.
- DEL CINCA. **Coagulantes Del Cinca**. 2016. Disponível em: <http://www.coagulantesdelcinca.com/productos.php?cvid=3>. Acesso em: 02 fev. 2024.

DIAS, G. *et al.* Biorremediação de efluentes por meio da aplicação de microalgas – uma revisão. **Química Nova**, 2019.

DIAS, V. M. **Desenvolvimento de um processo integrada para colheita e secagem da microalga *Scenedesmus obliquus***. 2022. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2022.

DINESHBABU, G. *et al.* Microalgae–nutritious, sustainable aqua- and animal feed source. **Journal of Functional Foods**, v.62, 2019.

FERREIRA, M. P. N. **Extração e caracterização de extratos lipídicos obtidos da biomassa de *Tetrademus (Scenedesmus) obliquus* com propriedades antimicrobianas**. 2021. 33 f. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2021a.

FERREIRA, I. N. T. **Otimização da extração de lipídios da microalga *Scenedesmus obliquus* com acetato de etila**. 2021. 108 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Curso de Engenharia Química. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2021b.

GOSWAMI, R. K.; AGRAWAL, K.; VERMA, P. Microalgal-based remediation of wastewater: A step towards environment protection and management. **Environmental Quality Management**, v.32, n. 1, 2022.

GUILLARD, R.R.L. **Culture of Phytoplankton for Feeding Marine Invertebrates**. In: SMITH, M. L.; CHANLEY, M.H., Eds., *Culture of Marine Invertebrates Animals*, Plenum Press, New York, 29-60, 1975.

HAN, S. F. *et al.* Enhancement of Lipid Production of *Scenedesmus obliquus* Cultivated in Municipal Wastewater by Plant Growth Regulator Treatment. **Waste and Biomass Valorization**, v. 10, n. 9, 2019.

HANASHIRO, R. H. R. *et al.* Estudo de modelos na sedimentação batelada para a separação de microalgas *Acutodesmus obliquus* com flocculante a base de tanino. In: São Paulo: Blucher, p. 862-865, 2018.

HARTULISTIYOSO, E. *et al.* Co-production of hydrochar and bioactive compounds from *Ulva lactuca* via a hydrothermal process. **Carbon Resources Conversion**, v. 7, n. 1, 2024.

HAMID, S. H. A. *et al.* A. **A study of coagulating protein of *Moringa oleifera* in microalgae bioflocculation**. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 113, p. 310-317, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.03.027>.

HANSEL, P. A.; RIEFLER, R. G.; STUART, B. J. Efficient flocculation of microalgae for biomass production using cationic starch. **Algal Research**. p.133-139, 2014.

HESSE, M. C. S. **Estudo Da Flocculação De Microalgas Empregando Flocculantes Naturais**. 2016. 76 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

HLAING, S. A. A.; SADIQ, M. B.; ANAL, A. K. Enhanced yield of *Scenedesmus obliquus* biomacromolecules through medium optimization and development of microalgae based functional chocolate. **Journal of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 57, n. 3, p. 1090–1099, 2020.

HO, S. H. *et al.* Engineering strategies for improving the CO₂ fixation and carbohydrate productivity of *Scenedesmus obliquus* CNW-N used for bioethanol fermentation. **Bioresource Technology**, v. 143, 2013.

ISLAM, M. S. *et al.* Water quality assessment along with Pollution sources of the Halda River. **Journal of the Asiatic Society of Bangladesh, Science**, v. 43, n. 1, 2017.

JANKOWSKA, E.; SAHU, A. K.; OLESKOWICZ-POPIEL, P. Biogas from microalgae: Review on microalgae's cultivation, harvesting and pretreatment for anaerobic digestion. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 75, p. 692-709, 2017

KUMARAN, J.; SINGH, I. S. B.; JOSEPH, V. Effective biomass harvesting of marine diatom *Chaetoceros muelleri* by chitosan-induced flocculation, preservation of biomass, and recycling of culture medium for aquaculture feed application. **Journal of Applied Phycology**, v. 33, n. 3, p. 1605–1619, 11 jun. 2021.

LEE, R. E. **Phycology**. London: Cambridge University Press. 2008.

LIMA, A. S. P. **Investigação do potencial biotecnológico da microalga *Scenedesmus obliquus* (TURPIN) KÜTZIN isolada no semiárido pernambucano**. 2021. 52 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.

LIMA, K.; PORTO, P.; FREITAS, R. Métodos de extração de bio-óleo a partir da microalga *Nannochloropsis oculata*: uma análise bibliométrica. **Research, Society and Development**, v. 7, n. 6, p. 01-22, 2018.

LIU, Z. *et al.* Technologies for harvesting the microalgae for industrial applications: Current trends and perspectives. **Bioresour Technol**, v. 387, 2023.

LOURENÇO, S. O. **Cultivo de Microalgas Marinhas – Princípios e Aplicações**. São Carlos: Rima, 2006. 606 p.

LUBIÁN, L. M. Concentrating cultured marine microalgae with chitosan. **Aquacultural Engineering**, v. 8, n. 4, p. 257–265, jan. 1989.

MANSOURI, H.; HAJIZADEH, F. Interaction Effects of salinity, high light intensity and acetate on growth and pigment production on *Scenedesmus obliquus*. **Iranian Journal of Science and Technology, Transaction A: Science**, [s. l.], v. 42, n. 4, p. 1821–1826, 2018.

MATOS, J. *et al.* Microalgae as healthy ingredients for functional food: a review. **Food & Function**, v. 8, p. 2672–2685, 2017.

MARTINS, G. B. **Efeitos da depleção de nitrogênio sobre a biomassa e produção lipídica lipídica de três espécies de microalgas fitoplânticas**. 2014. 59 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais, Vitória, 2014.

MITRA, S. *et al.* Potential health benefits of carotenoid lutein: An updated review. **Food and Chemical Toxicology**, [s. l.], v. 154, p. 112328, 2021.

MORAES, E. A. **Cultivo da microalga *Chlorella vulgaris* em efluente industrial, como meio alternativo, para produção de biomassa visando obtenção de energia verde**. 2023. 35 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Pesca) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

NASCIMENTO, E. C. R. **Microalgas: agentes naturais no processo de floculação e conhecimento de alunos sobre seu uso**. 2019. 60 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

OLIVEIRA, C. A. *et al.* Potencial nutricional, funcional e terapêutico da cianobactéria *Spirulina*. **Revista da Associação Brasileira de Nutrição - RASBRAN**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 52–59, 2013

PENG, L. *et al.* Biofuel production from microalgae: a review. **Environmental Chemistry Letters**, 2020.

RANDHIR, A. *et al.* Microalgae: A potential sustainable commercial source of sterols. **Algal Research**, 2020.

ROSELET, F. F. G. **Escoamento do cultivo e da floculação da microalga marinha *Nannochloropsis oculata***. 2015. 119 f. Tese (Doutorado em Aquicultura). Universidade Federal do Rio Grande. 2015.

RIZWAN, M. *et al.* Exploring the potential of microalgae for new biotechnology applications and beyond: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 92, p. 394-404, 2018

SALIM, S.; VERMUË, M. H.; WIJFFELS, R. H. Ratio between autoflocculating and target microalgae affects the energy-efficient harvesting by bio-flocculation. **Bioresource Technology**, v. 118, 2012.

SELESU, N. F. H. **Desenvolvimento do processo de produção de microalgas em fotobiorreator industrial usando efluente suíno biodigerido**. 2015. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

SILVA, A. G. M. *et al.* Eficiência de agentes floculantes avaliando o tempo de floculação da microalga *Chlorella vulgaris* (Beyerinck) visando à produção de Biodiesel. **Brazilian Applied Science Review**, v. 5, n. 2, p. 1198–1206, 2021.

SILVA, D.C. **Cultivo da microalga *Chaetoceros gracilis* com variação de salinidade e seu efeito no crescimento, produção de pigmentos fotossintéticos e exopolissacarídeos.** 2022. 50 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Pesca) - Curso de Engenharia de Pesca, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

SIRIN, S. *et al.* Harvesting the microalgae *Phaeodactylum tricornutum* with polyaluminum chloride, aluminium sulphate, chitosan and alkalinity-induced flocculation. **Journal of Applied Phycology**, v.24, p. 1067–1080, 2012. DOI 10.1007/s10811-011-9736-6

SOARES, D. Q. **Estudo da microalga *Scenedesmus sp.* na biorremediação de efluente da indústria e recuperação de biomassa.** 2024. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Naturais. Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2024.

TANG, D. *et al.* CO₂ biofixation and fatty acid composition of *Scenedesmus obliquus* and *Chlorella pyrenoidosa* in response to different CO₂ levels. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 3, 2011.

'T LAM, G. P. *et al.* Cationic polymers for successful flocculation of marine microalgae. **Bioresource Technology**, v. 169, 2014.

UDUMAN, N. *et al.* Marine microalgae flocculation and focused beam reflectance measurement. **Chemical Engineering Journal**, p. 935-940, 2010.

UDUMAN, N. *et al.* Dewatering of microalgal cultures: A major bottleneck to algae-based fuels. **J. Ren. Sustain. Energy**, v. 2, p.012701-12716, 2010.

VARANDAS, R. C. R. **Cultivo de microalgas em meios alternativos: extração de compostos bioativos de interesse à indústria de alimentos.** 2020. 138 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Paraíba, João Pessoa, 2020.

VASCONCELOS, P. S. M. **Avaliação do crescimento e produtividade de *Artemia* alimentada com dietas de *Chaetoceros muelleri* (Lemmermann, 1898) floculadas com quitosana.** 2022. 32 f. Monografia (Graduação em Oceanografia) – Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

WEYER, K. M. *et al.* Theoretical maximum algal oil production. **Bioenergy Research**, v. 3, n. 2, 2010.

WU, J. *et al.* Evaluation of several flocculants for flocculating microalgae. **Bioresource Technology**, v. 197, 2015.

XU, Y.; PURTON, S.; BAGANZ, F. Chitosan flocculation to aid the harvesting of the microalga *Chlorella sorokiniana*. **Bioresource technology**, v. 129, p. 296–301, 2013.

YIN, Z. *et al.* Application of chitosan-based flocculants to harvest microalgal biomass for biofuel production: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 145, p. 111159, 2021.

ZHU, L.; LI, Z.; HILTUNEN, E. Microalgae *Chlorella vulgaris* biomass harvesting by natural flocculant: effects on biomass sedimentation, spent medium recycling and lipid extraction. **Biotechnol Biofuels**, v. 11, n. 183, 2018