

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
UNIDADE ACADÊMICA CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

GABRIELA ARAUJO MONTEIRO

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DAS ALGAS *Tetraselmis tetrathele* e
Nannochloropsis oculata PARA PRODUÇÃO DE OXIGÊNIO.**

Maceió

2025

GABRIELA ARAUJO MONTEIRO

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DAS ALGAS *Tetraselmis tetrathele* e
Nannochloropsis oculata PARA PRODUÇÃO DE OXIGÊNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
curso de Engenharia Química da Universidade
Federal de Alagoas como requisito para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Prof. Dra. Livia Maria de Oliveira
Ribeiro

Coorientadora: Prof. Dra. Dayana de Gusmão Coêlho

Maceió
2025

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

M775a Monteiro, Gabriela Araujo.

Avaliação da eficiência das algas *Tetraselmis tetrathele* e
Nannochloropsis oculata para produção de oxigênio / Gabriela Araujo
Monteiro. – 2025.

38 f. il. : figs. ; tabs. color.

Orientadora: Livia Maria de Oliveira Ribeiro.

Co-orientadora: Dayana de Gusmão Coêlho.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Química).
Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2025.

Bibliografia: f. 37-38.

1. Microalgas. 2. Estabilidade do pH. 3. Poluição atmosférica. 4.
Biorremediação. I. Título.

CDU: 661.937

Folha de Aprovação

GABRIELA ARAUJO MONTEIRO

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DAS ALGAS *Tetraselmis tetrathele* E *Nannocloropsis oculata* PARA A PRODUÇÃO DE OXIGÊNIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Alagoas como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **LÍVIA MARIA DE OLIVEIRA RIBEIRO**
Data: 19/05/2025 17:12:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientadora: Profa. Dra. Lívia Maria de Oliveira Ribeiro
(Universidade Federal de Alagoas)

Documento assinado digitalmente
 **DAYANA DE GUSMAO COELHO**
Data: 21/05/2025 10:31:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Coorientadora: Profa. Dra. Dayana de Gusmão Coêlho
(Universidade Federal de Alagoas)

Documento assinado digitalmente
 **RENATA MARIA ROSAS GARCIA ALMEIDA**
Data: 20/05/2025 08:26:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Renata Maria Rosas Garcia Almeida
(Universidade Federal de Alagoas)

Documento assinado digitalmente
 **WAGNER ROBERTO DE OLIVEIRA PIMENTEL**
Data: 19/05/2025 12:08:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Wagner Roberto de Oliveira Pimentel
(Universidade Federal de Alagoas)

A minha mãe e minha avó, que são a base principal
de todos os meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus que me concedeu serenidade e força para trilhar este caminho e concluir este trabalho. Sem sua luz, nada disso seria possível.

À minha amada família, meu porto seguro e maior exemplo de vida. À minha mãe Rosiane, que com dedicação e amor incondicional, abdicou tanto por mim e me ensinou através de atitudes. Ao meu padrasto Flávio, que mesmo com jeito durão, é um grande pai e exemplo de força. Agradeço por todo esforço, apoio e ensinamentos sobre honestidade, perseverança e amor. Vocês são minha base e meu maior orgulho. Agradeço a Deus todos os dias, mesmo em silêncio, por ter vocês. Amo vocês infinitamente.

À minha amada avó, Maria da Glória, meu exemplo de vida e fortaleza. Desde pequena, sua presença é meu aconchego, desde esperar ansiosa sua chegada até correr para dar bom dia ou dormir ao seu lado. Obrigada por me acalmar mesmo sem palavras, por me incentivar nas dúvidas e celebrar cada conquista como sua. Você é minha raiz, minha história e um presente de Deus na minha vida. Amo você profundamente.

À minha cadelinha Nina, minha amiga de quatro patas, minha confidente silenciosa. Agradeço por cada lambida carinhosa, cada rabo abanado, cada olhar de amor incondicional. Você me ensinou o verdadeiro significado de lealdade e da amizade. Sou grata por te ter.

À minha segunda família, de alma e de coração, Vera Lúcia, Tracy Castro e Maria Vitória Estênio, que vibram comigo a cada conquista, que me ajudam como ninguém. Minha eterna gratidão, por todo o apoio nesta etapa, compreensão e pelo encorajamento que me deram ao longo dessa jornada. As palavras de vocês foram uma fonte constante de motivação para mim. Amo muito vocês.

Aos meus colegas de infância e amigos que a vida me deu, em especial a Júlia Gabriela, Ericka Farias, Tainá Luz, Maria Luiza, Ana Ruth, Bárbara Fernandes, Letícia Pimentel, Lucas Acioli e Luis Felipe, obrigada por me acolherem, rezarem por mim e me ensinarem sobre amizade e lealdade. Às amigas da faculdade que tornaram essa jornada mais leve, especialmente ao meu grupinho: Dênio Deivisson, Larissa Lima, Larissa Pâmela, Karla Souza, Walber Coêlho, Mariana Aguiar, Pedro Bispo e Pedro Freire, por cada risada e apoio nos dias difíceis. E à minha duplinha, Gabriela Almeida, obrigada por ser meu suporte do começo ao fim, pelas madrugadas de nervosismo, pelas risadas sinceras e por dividir comigo os momentos tristes e os mais felizes.

Aos meus professores, mestres que iluminaram minha jornada acadêmica, sou grata pelos ensinamentos, incentivos e por acreditarem em meu potencial. Em especial, à minha

orientadora, a Dra. Livia Maria de Oliveira Ribeiro, meu eterno reconhecimento pela sua sabedoria, competência e paciência, que foram fundamentais para a realização deste sonho.

Aos membros da banca, Dr. Wagner Roberto de Oliveira Pimentel e Dra. Renata Maria Rosas Garcia Almeida, minha profunda gratidão pelas valiosas contribuições e sugestões que ajudarão a enriquecer este trabalho, tornando-o ainda mais completo.

Por fim, mas não menos importante, meus sinceros agradecimentos a todos que, de alguma forma, fizeram parte desta etapa tão importante da minha vida. Cada palavra de apoio, cada gesto de carinho e cada sorriso de incentivo foram essenciais para que eu chegasse até aqui. Vocês moram em meu coração e levarei cada um de vocês comigo em minha jornada.

RESUMO

Nas últimas décadas, tornou-se crescente a preocupação com o excesso de emissão de gases poluentes no ambiente, dentre elas, a emissão de dióxido de carbono (CO₂). O CO₂ é essencial para a vida no planeta, mas é considerado um gás devastador quando liberado em excesso gerando grandes desequilíbrios, como por exemplo, aquecimento dos oceanos, alteração climática significativa, poluição atmosférica, dentre outros. Com este avanço desordenado, o uso de microalgas é particularmente eficaz na purificação do ar e na redução das emissões de dióxido de carbono em áreas urbanas. Desse modo, as microalgas são organismos essenciais para a produção de oxigênio, sustentando a vida em ecossistemas aquáticos e contribuindo para a saúde global do meio ambiente. Elas contribuem para a mitigação das mudanças climáticas ao sequestrar o carbono no ciclo do carbono, juntamente com a utilização em processos de biorremediação para remoção de poluentes da água, como metais pesados e nutrientes em excesso. Com isso, esse trabalho teve como propósito estudar a eficiência de duas espécies de microalgas, *Nannochloropsis oculata* e *Tetraselmis Tetrahele*, as quais são responsáveis por grande produção de oxigênio do meio ambiente. A *Nannochloropsis oculata* possui uma taxa de fotossíntese elevada devido à sua ampla distribuição nos oceanos e águas doces, sendo, assim, crucial para o ciclo do carbono, onde absorve o dióxido de carbono, liberando o oxigênio. A *Tetraselmis tetrahele* também é encontrada em água salgada, porém em regiões mais específicas, já que essa espécie, diferente da primeira, não resiste a águas com temperatura muito alta e grande índice de luminosidade. Com essas duas espécies, foi determinada a concentração de Oxigênio Dissolvido (O.D.) e, em seguida, a taxa de fotossíntese através da variação de oxigênio dissolvido da massa líquida, os quais refletem no equilíbrio biológico entre a produção fotossintética e o consumo de respiração, e no equilíbrio físico pelas trocas atmosféricas de oxigênio na interface ar-água. A partir dessas condições, visou-se determinar, entre as duas microalgas estudadas, aquela que contribuiu mais significativamente para a produção de oxigênio. A análise dos resultados indicou que a microalga *Tetraselmis tetrahele* apresentou maior eficiência na produção de Oxigênio Dissolvido (OD), devido à sua estabilidade frente às variações de pH e à capacidade de utilizar os nutrientes de forma progressiva, mesmo em condições de limitação. Em contraste, *Nannochloropsis oculata* demonstrou estresse fisiológico, com redução precoce da atividade fotossintética, possivelmente agravada por uma leve queda de temperatura durante o experimento, uma vez que a espécie apresenta melhor desempenho em temperaturas mais altas. A ausência de reposição da fórmula de Guillard reforçou a adaptabilidade de *T.*

tetrathele, que manteve elevada eficiência fotossintética mesmo diante de condições nutricionais restritas.

Palavras-Chave: Microalgas, Estabilidade, Poluição, Biorremediação.

ABSTRACT

In recent decades, there has been growing concern about the excessive emission of polluting gases into the environment, including carbon dioxide (CO₂). CO₂ is essential for life on the planet, but it is considered a devastating gas when released in excess, generating major imbalances, such as ocean warming, significant climate change, atmospheric pollution, among others. With this disorderly advancement, the use of microalgae is particularly effective in purifying the air and reducing carbon dioxide emissions in urban areas. Thus, microalgae are essential organisms for the production of oxygen, sustaining life in aquatic ecosystems and contributing to the global health of the environment. They contribute to the mitigation of climate change by sequestering carbon in the carbon cycle, together with their use in bioremediation processes to remove pollutants from water, such as heavy metals and excess nutrients. Therefore, this work aimed to study the efficiency of two species of microalgae, *Nannochloropsis oculata* and *Tetraselmis tetrathele*, which are responsible for the large production of oxygen in the environment. *Nannochloropsis oculata* has a high rate of photosynthesis due to its wide distribution in the oceans and freshwater, and is therefore crucial for the carbon cycle, where it absorbs carbon dioxide, releasing oxygen. *Tetraselmis tetrathele* is also found in salt water, but in more specific regions, since this species, unlike the first, does not resist waters with very high temperatures and high levels of luminosity. With these two species, the concentration of dissolved oxygen (D.O.) was determined and, subsequently, the rate of photosynthesis through the variation of dissolved oxygen in the liquid mass, which reflect the biological balance between photosynthetic production and consumption for respiration, and the physical balance through atmospheric exchanges of oxygen at the air-water interface. Based on these conditions, the aim was to determine which of the two microalgae studied contributed most significantly to oxygen production. Analysis of the results indicated that the microalgae *Tetraselmis tetrathele* presented greater efficiency in the production of dissolved oxygen (DO), due to its stability in the face of pH variations and its ability to utilize nutrients progressively, even under conditions of limitation. In contrast, *Nannochloropsis oculata* demonstrated physiological stress, with an early reduction in photosynthetic activity, possibly aggravated by a slight drop in temperature during the experiment, since the species performs better at higher temperatures. The absence of replacement of Guillard's formula reinforced the adaptability of *T. tetrathele*, which maintained high photosynthetic efficiency even under restricted nutritional conditions.

Keywords: Microalgae, Stability, Pollution, Bioremediation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Poluição ambiental em São Paulo	15
Figura 2 - Árvore líquida localizada na cidade de Belgrado na Sérvia - primeiro fotobiorreator urbano.....	16
Figura 3 - Espécies de microalgas	20
Figura 4 - Sistema de aeração com água salgada antes da inoculação.....	24
Figura 5 - Verificação do pH antes da inoculação	24
Figura 6 - Fitoplânctons vivos concentrados	25
Figura 7 - Sistema com Fitoplâncton inoculado	26
Figura 8 - F2 - Fórmula Guillard - Alimento para fitoplâncton	27
Figura 9 - Nutrientes F2 - Fórmula Guillard	27
Figura 10 - Composição F2	28
Figura 11 - Escala de Cores de OD	30
Figura 12 - Escurecimento gradual durante 7 dias	31
Figura 13 - Aparência dos reagentes para determinar a concentração dos fitoplânctons.....	34
Figura 16 - Primeiras amostras de fitoplânctons sendo comparada com a escala de cores de OD	35
Figura 17 - Últimas amostras de fitoplânctons sendo comparada com a escala de cores de OD	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores do pH para os fitoplânctons	32
Tabela 2 - Valor de OD dos 7 dias de cultivo.....	36

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
2.	OBJETIVOS	14
2.1.	Geral	14
2.2.	Específico	14
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1.	Poluição ambiental no Brasil	15
3.2.	Árvore líquida (<i>Liquid tree</i>)	16
3.3.	Microalgas	17
3.3.1.	Microalgas no Brasil	18
3.3.2.	Microalgas para produção de oxigênio	19
3.3.2.1.	<i>Nannochloropsis oculata</i> e <i>Tetraselmis tetrathele</i>	20
3.4.	Sobre o pH	21
3.5.	Oxigênio dissolvido (OD)	21
4.	METODOLOGIA	23
4.1.	Construção do Sistema de Aeração e Preparo do Meio	23
4.2.	Obtenção das Microalgas	25
4.3.	Inoculação do Fitoplâncton	25
4.4.	Utilização do Meio da Fórmula Guillaards F/2	27
4.5.	Produção de Oxigênio Dissolvido	29
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
5.1.	Inoculação do Fitoplâncton	31
5.2.	Variação de pH	32
5.3.	Oxigênio Dissolvido (OD)	34
6.	CONCLUSÃO	38
7.	REFERÊNCIAS	39

1. INTRODUÇÃO

Em decorrência ao rápido crescimento demográfico, urbanização e a industrialização, diversos problemas ambientais foram surgindo e se acumulando ao longo das décadas. Dentre esses problemas, a poluição do ar é uma questão crítica em regiões urbanas de alta densidade populacional. No Brasil, em particular no estado de São Paulo, os problemas ambientais decorrentes da industrialização acelerada vem exigindo cada vez mais a ação de políticas ambientais claras e definidas. A diminuição das áreas verdes é algo que vem acontecendo para acompanhar esse crescimento, fazendo com que haja um aumento da concentração de dióxido de carbono (CO₂), um dos principais gases responsáveis pelo efeito estufa e pelo aumento das temperaturas globais (CARVALHO, 2023).

Diante deste cenário, várias pesquisas têm sido realizadas para identificar fatores e parâmetros que diminuam a emissão desses gases, bem como soluções para preservar a população, já que, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) considera que a poluição do ar esteja diretamente relacionada a 24% das mortes por doenças cardíacas, 25% das mortes por Acidente Vascular Cerebral (AVC), 29% das mortes por câncer pulmonar e 43% das mortes por obstrução de vias respiratórias. A estimativa da agência sanitária da ONU é de que 7 milhões de pessoas morram anualmente devido a causas diretamente relacionadas à poluição (OMS, 2023).

Sendo assim, a utilização de agentes que atuem como opções benéficas para auxiliar esse desgaste acaba sendo de grande valia, podendo se destacar como fontes emergentes e promissoras de energia renovável, como é o caso das microalgas.

As microalgas, conhecidas também como fitoplâncton, constituem um grupo diversificado de organismos predominantemente aquáticos e, em sua maioria, unicelulares, que podem formar colônias com pouca ou nenhuma diferenciação celular. Possuem elevada capacidade de absorção de CO₂ e, consequentemente, uma grande taxa fotossintética (60-70% da produção de oxigênio atmosférico), significativamente superior à das plantas terrestres (WANG et al. 2015).

Esses organismos fixam carbono e direcionam a energia para a reprodução e para a fotossíntese. Como a respiração não faz parte de seu processo de geração de energia, o único resíduo produzido é o oxigênio. Por outro lado, a decomposição das células mortas de diatomáceas e algas unicelulares por microorganismos permite a reciclagem de substâncias, como o CO₂. Dessa forma, o gás carbônico é novamente liberado no ambiente, servindo

como substrato para novos processos fotossintéticos, que geram oxigênio de maneira ainda mais rápida (BIOICOS, 2021).

Diante do exposto, esse trabalho teve como propósito estudar duas espécies diferentes de microalgas, *Nannochloropsis oculata* e *Tetraselmis tetrathele*, de modo a identificar qual delas possuiu a maior capacidade em produzir oxigênio dissolvido de acordo com condições controladas, favorecendo a saúde da população e, conseqüentemente, diminuindo os efeitos da poluição ambiental.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência das microalgas *Nannochloropsis oculata* e *Tetraselmis tetrathele* na produção de oxigênio sob condições controladas..

2.2. Específicos

- Cultivo e reprodução das espécies de microalgas *Nannochloropsis oculata* e *Tetraselmis tetrathele*;
- Determinação da concentração de Oxigênio Dissolvido (O.D.) em solução aquosa para as duas espécies de microalgas estudadas;
- Determinação da taxa de fotossíntese;
- Estudar qual das microalgas *Nannochloropsis oculata* e *Tetraselmis tetrathele* contribui de forma mais significativa na produção de oxigênio.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados os principais conceitos que envolvem o presente trabalho, o qual será abordado a problemática envolvendo a poluição ambiental no Brasil, bem como as microalgas produtoras de oxigênio que podem se comportar como uma solução para tal problema.

3.1. Poluição ambiental no Brasil

Segundo dados da Organização Mundial de Saúde (OMS), todas as regiões do Brasil respiram níveis de poluição superiores ao recomendado. De acordo com o monitoramento, a média anual de Material Particulado Fino (MP_{2,5}) em São Paulo em 2023, por exemplo, foi de 38,5 microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), quase oito vezes o limite de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ estabelecido pela OMS. Esses materiais particulados referem-se a partículas muito pequenas no ar, menores que 2,5 micrômetros, originadas principalmente de veículos, indústrias e queimadas, o qual, quando inalados, são capazes de causar impactos cardiovasculares, cerebrovasculares e respiratórios (OMS, 2023).

São Paulo é o estado com as cidades de piores índices de poluição do ar, Figura 1, conforme um estudo do Ministério da Saúde em parceria com o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2024). Segundo essa pesquisa, todos os 645 municípios paulistas apresentam níveis de poluição acima do recomendado, liderado pela cidade de São Paulo, seguida por Guarulhos, Araçariguama, Barueri, Caieiras, Cajamar, Campo Limpo Paulista, Francisco Morato, Franco da Rocha, Itupeva, Jundiaí, Pirapora do Bom Jesus, Santana de Parnaíba, Várzea Paulista e entre outros.

Figura 1 - Poluição ambiental em São Paulo



Fonte: Alencar, 2016

O crescimento populacional, bem como a quantidade de fábricas, indústrias e veículos, favorecem essa poluição, sendo cada vez mais necessário realizar cortes de árvores, ou seja, diminuir os espaços verdes, para contribuir com tais demandas em áreas urbanas densamente povoadas. Sendo assim, essa diminuição de espaços verdes impacta diretamente na saúde da população, já que as árvores são capazes de filtrar as partículas e os elementos tóxicos suspensos no ar. Além disso, com mais verde, aumenta-se a produção de oxigênio.

Tal problema de poluição não é enfrentado apenas no Brasil, mas em vários países ao redor do mundo, com destaque para a China, Estados Unidos e Índia. Sendo assim, pesquisadores da Sérvia, país dos Balcãs, no continente da Europa, estudaram por muitos anos a respeito dessa problemática, desenvolvendo uma solução inovadora para enfrentar esse problema: uma árvore líquida ou *liquid tree*.

3.2. Árvore líquida (*Liquid tree*)

A árvore líquida é considerada o primeiro fotobiorreator urbano construído até então, a qual utiliza microalgas para produzir oxigênio, Figura 2. Esse biorreator comporta 600 litros de água, onde as microalgas, por meio de fotossíntese, produzem oxigênio puro e absorvem o CO₂. De acordo com os criadores, a árvore líquida é 10 a 50 vezes mais eficiente do que uma árvore e pode substituir o efeito de duas árvores de 10 anos ou 200 metros quadrados de grama (Carvalho, 2023).

Figura 2 - Árvore líquida localizada na cidade de Belgrado na Sérvia - primeiro fotobiorreator



Fonte: Carvalho, 2023.

O grande objetivo desse fotobiorreator é imitar a fotossíntese realizada pelas árvores e gramíneas, fazendo-se uso de microalgas, seres resistentes a altas concentrações de poluentes.

3.3. Microalgas

Os seres vivos podem ser classificados em 5 (cinco) reinos de acordo com suas relações de parentescos na história da evolução, sendo-os: reino Animalia, Plantae, Monera, Fungi e Protocista (Planeta biologia, 2023).

O reino Animale ou reino animal são todos os seres vivos que são eucariontes (apresentam um núcleo delimitado por membrana), compostos de mais de uma célula (pluricelulares) e não são capazes de produzir o próprio alimento, ou seja, são heterótrofos.

O reino Plantae, conhecido também como reino vegetal ou das plantas, se classificam os seres que são eucariontes, pluricelulares e que são capazes de produzir seu próprio alimento pelo processo de fotossíntese, sendo-os, assim, autótrofos.

O reino Monera são seres procariontes, unicelulares e que podem agir como seres autótrofos ou heterótrofos, a depender da espécie.

O reino Fungi são seres eucariontes, heterótrofos, sendo em sua maioria compostos por seres pluricelulares.

E por fim, o reino protocista ou protistas, o qual engloba os seres eucariontes, unicelulares e pluricelulares (sem tecidos verdadeiros) e seres autótrofos e heterótrofos.

O reino protista se divide em dois grupos principais: os protozoários e as algas. Os protozoários são organismos eucariontes que apresentam sua nutrição heterotrófica e as algas, por sua vez, apresentam nutrição autotrófica.

Dentro dos grupos das algas, estas podem ser divididas em fitobento e fitoplânctons. As fitobento são macroalgas que podem ser vistas a olho nu, enquanto que as fitoplânctons são microalgas que, para serem detectadas, é necessário o auxílio de um microscópio (Santos, 2023).

As microalgas são conhecidas pela habilidade de produzir biomassa e oxigênio convertendo água, CO₂ e micronutrientes, utilizando luz como fonte de energia. Esse processo é comumente conhecido por fotossíntese e, assim, microalgas com esse perfil metabólico são classificadas como fotoautotróficas (Tomaselli, 2014). Elas podem ser encontradas, em sua maioria, em ambientes aquáticos, tais como rios, lagos e outros ecossistemas marinhos, mas também em pedras e superfícies de solo (Van der ha, et al., 2019).

As microalgas têm sido foco de muitos estudos nos últimos anos tendo em vista sua grande aplicabilidade na indústria de alimentos e farmacêutica, nas áreas da biomedicina e ambiental. As aplicações ambientais das microalgas incluem a biofixação de CO₂, remoção de matéria orgânica e metais tóxicos de efluentes, produção de biocombustíveis como biodiesel e bioetanol, produção de moléculas de origem lipídica com capacidade surfactante e produção de oxigênio (Schimtz, 2012).

3.3.1. Microalgas no Brasil

O Brasil possui grande potencial para produzir microalgas em larga escala, considerando que o país possui 10.959 km de costa, conta com aproximadamente 12% das reservas de água doce do mundo e recebe níveis médios de insolação de 8 – 22 MJ/m² .dia.

Cientes desse potencial, empresas nacionais e multinacionais fazem consideráveis investimentos na estruturação de sistemas de produção de microalgas no Brasil. Um exemplo é a parceria do grupo brasileiro JB com a empresa Austria's See Algae Technology – SAT, que visa produzir etanol e ração animal a partir de microalgas cultivadas em uma planta a ser instalada em Recife-PE (Algae, 2023). O projeto, orçado em US\$8 milhões, é baseado na tecnologia de prismas solares, desenvolvida pela SAT, capaz de concentrar a luz solar nos tanques de cultivo por meio do uso de fibras ópticas.

A empresa americana Solazyme firmou parceria com a brasileira Bunge para realizar investimento de US\$120 milhões em uma planta de cultivo de microalgas anexa à unidade da Bunge em São Paulo (Embrapa, 2023). As microalgas serão cultivadas em sistemas heterotróficos, utilizando a sacarose do caldo de cana-de-açúcar como fonte de carbono, com o objetivo de servir de matéria-prima para a produção de cosméticos, químicos renováveis e biocombustíveis.

A startup brasileira Algae (Algae, 2023) está construindo uma planta-piloto de cultivo de microalgas em parceria com a Universidade Federal de São Carlos – Ufscar. Nesse modelo, a vinhaça, resíduo poluente derivado da destilação do etanol, será utilizada como base para o meio de cultivo.

A Embrapa também iniciou esforços de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) em biocombustíveis de microalgas baseados em modelo semelhante ao da Algae e conta com a parceria da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS e Fundação Universidade do Rio Grande – FURG. O objetivo é gerar estirpes de microalgas melhoradas geneticamente para viabilizar economicamente a produção de biodiesel e etanol a partir de microalgas cultivadas em vinhaça. Os pesquisadores estimam que seja possível produzir cerca de cinco

bilhões de litros de biodiesel, quase o dobro da produção anual brasileira, a partir do aproveitamento integral do volume de vinhaça produzido anualmente.

A Petrobras instalou uma planta de cultivo de microalgas próximo à cidade de Natal-RN e aposta no aproveitamento da água de produção de petróleo como fonte de nutrientes para as microalgas. Esse projeto é realizado em parceria com a Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRN e tem foco na produção de biodiesel.

Com o que se refere a utilização de microalgas como fonte produtora de oxigênio, são poucos artigos publicados na literatura atualmente, sendo motivo de incentivo e curiosidade acerca de tal propósito.

3.3.2. Microalgas para produção de oxigênio

Estima-se que exista cerca de quatro mil espécies de microalgas marinhas, diferenciando-as por sua forma e tamanho, onde tais diferenças morfológicas têm sido tradicionalmente usadas na circunscrição taxonômica das espécies (Reynolds 2006, Finkel et al. 2010). Dentre as espécies mais estudadas, pode-se citar: *Nannochloropsis oculata*, *Belleriochea polymorpha*, *Isochrysis tahitiana*, *Chaetocerus gracilis*, *Tetraselmis tetrathele*, *Chaetocerus gracilis*, *Spirulina sp.* e *Chlorella vulgaris*.

Segundo Kruk et al. 2020, a diferença de produção de oxigênio entre as espécies está ligada a sua facilidade de reprodução, ou seja, quanto mais microalgas de cada espécie se tem, maior quantidade de oxigênio é produzida. Essa facilidade de reprodução deve ser levada em conta quando se trata de estudos com microalgas já que, em sua maioria, são realizados fora do ambiente primário delas, podendo ser difícil seu andamento. Em outras palavras, algumas microalgas não são resistentes fora de seu ambiente primário, sendo difícil manipulá-las em laboratório, por exemplo. Em contrapartida, algumas, além de serem de fácil manipulação, são facilmente encontradas em diversos ambientes aquáticos.

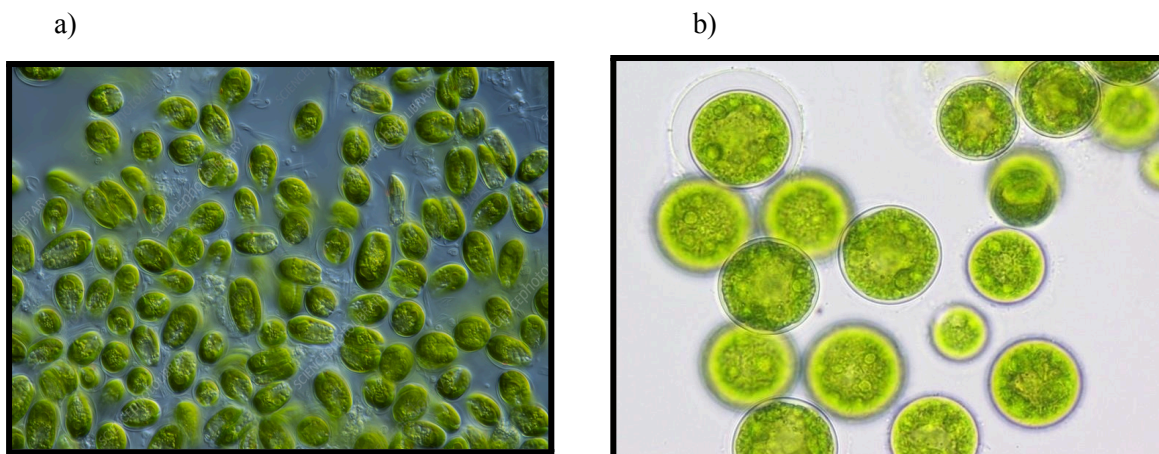
Como explicado no item 3.3.1, o Brasil possui várias espécies de microalgas interessantes para várias finalidades. No entanto, pode-se destacar duas que são consideradas as maiores produtoras de oxigênio existentes no país: *Nannochloropsis oculata* e *Tetraselmis tetrathele*.

3.3.2.1. *Nannochloropsis oculata* e *Tetraselmis tetrathele*

As espécies *Nannochloropsis oculata* e *Tetraselmis tetrathele* são facilmente encontradas em território brasileiro, sendo-as predominantes em ambientes aquáticos, tais como águas salgadas.

A *Tetraselmis tetrathele*, Figura 3a, é uma microalga verde flagelada, com mobilidade e rica em clorofila, proteínas e compostos bioativos, amplamente utilizada em biotecnologia e aquicultura. Já a *Nannochloropsis oculata*, Figura 3b, é uma microalga esférica, sem flagelos e com alta concentração de ácidos graxos ômega-3 (especialmente Ácido Eicosapentaenoico - EPA), sendo também muito usada na aquicultura, principalmente na alimentação de organismos marinhos.

Figura 3 - Espécies de microalgas: a) *Tetraselmis tetrathele* e b) *Nannochloropsis oculata*



Fonte: FOX, sem data

Fonte: GALINA, 2018.

Ambas são grandes produtoras de oxigênio dissolvido, onde a *Nannochloropsis oculata* pode produzir entre 80-90%, enquanto a *Tetraselmis tetrathele* na faixa de 75-85% (Mehariya, et al., 2021).

Segundo Meinerz (2007), uma diferença considerável entre essas microalgas é a resistência a certas temperaturas. Enquanto que a *Nannochloropsis oculata* é bastante resistente a temperaturas acima de 25 graus, a *Tetraselmis tetrathele* responde melhor a temperaturas mais baixas, até 21 graus.

Diante disso, essas espécies foram escolhidas como objeto de estudo deste presente trabalho.

3.4. Sobre o pH

Inicialmente, o parâmetro pH (potencial hidrogeniônico) é uma medida da acidez ou alcalinidade de uma substância, ou solo, água ou solução nutritiva. Ele indica a concentração de íons hidrogênio (H^+) presentes, variando de 0 a 14, onde valores abaixo de 7 indicam acidez, 7 é neutro e valores acima de 7 indicam alcalinidade.

As algas, através da fotossíntese, liberam oxigênio na água. Esse excesso de oxigênio pode elevar os níveis de pH, tornando a água mais alcalina. (LG Sonic, 2023)

Para o contexto de fitoplâncton, o pH é um parâmetro fundamental que influencia diretamente o crescimento, a fotossíntese e a saúde deles. Em pH ácido, há solubilidade de nutrientes, enquanto em pH elevado, esses nutrientes podem precipitar e se tornar menos disponíveis. Esse fenômeno é particularmente importante para o fitoplâncton em ecossistemas naturais, onde mudanças no pH podem afetar a dinâmica de nutrientes e alterar a composição das comunidades fitoplanctônicas.

É importante ressaltar que, em condições de pH muito ácido ou muito alcalino, o estresse pode causar danos às células, afetando assim, a integridade da microalga. Em pH muito ácido, as microalgas podem sofrer toxicidade devido ao aumento da concentração de íons hidrogênio, enquanto em pH alcalino, o estresse osmótico pode reduzir a capacidade de absorção de nutrientes.

As microalgas nativas, isoladas do meio natural, possuem como vantagem o fato de serem adaptadas ao ambiente e ao clima da região, evitando a introdução de espécies exóticas (Gonzalez et al., 2020).

3.5. Oxigênio dissolvido (OD)

O Oxigênio Dissolvido (OD) é a quantidade de oxigênio presente na água em forma dissolvida, sendo essencial para a sobrevivência dos organismos aquáticos, como peixes, plantas e microrganismos. Esse parâmetro é um dos principais indicadores da qualidade da água, pois níveis adequados de OD garantem um ambiente saudável e equilibrado, refletindo de forma eficaz sua atividade fotossintética. Assim, o monitoramento do oxigênio dissolvido é fundamental para a preservação da vida nos ambientes aquáticos.

Temperatura, altitude e salinidade influenciam a concentração de oxigênio. Quanto maior o valor destes parâmetros, menor a concentração de oxigênio dissolvido. Elevação de temperatura em torno de 5°C leva a uma redução de 0,8 a 1,0 ppm na concentração de O_2 . Ambientes com grande presença de microalgas, fitoplânctons apresentam intensa atividade fotossintética e respiração, o que pode promover oscilações significativas na concentração.

Ao decorrer deste estudo, o OD foi monitorado todos os 7 dias para analisar a eficácia e garantir um ambiente saudável e equilibrado para os fitoplânctons. Foi utilizado o método de Winkler, que é uma referência confiável e muito utilizada para avaliar a qualidade da água.

4. METODOLOGIA

Essa seção apresentará os principais materiais e procedimentos utilizados para obtenção da melhor espécie de microalga produtora de oxigênio.

Inicialmente, foram adquiridas as espécies das microalgas, seguido de sua reprodução em laboratório. Tendo obtido quantidade suficiente, as taxas de fotossíntese foram determinadas com o intuito de obter os valores de oxigênio produzido.

4.1. Construção do Sistema de Aeração e Preparo do Meio

Para alcançar os objetivos propostos neste trabalho, foi projetado e construído um sistema de aeração com o auxílio de uma bomba com o intuito de simular um ambiente aquático, fundamental para o crescimento e desenvolvimento das microalgas.

Esse sistema possuiu as seguintes proporções: 21 cm de altura, raio de 4,26 cm, com a área da base de 114,3 cm², área lateral de 562,8 cm², resultando em uma área total 677 cm² e volume total de 1200 mL.

Foi construído utilizando tubulação de vinil, com uma abertura na parte superior para permitir a aeração contínua do sistema. Para essa aeração, foi instalado um duto flexível, conectado a uma bomba de ar, com o duto posicionado a uma distância de 5 cm do fundo do reator. Isso garantiu uma distribuição eficiente de ar no meio de cultivo, favorecendo, dessa forma, uma circulação adequada.

Vale ressaltar que, antes de começar os experimentos, todos os materiais foram esterilizados para evitar qualquer contaminação.

A solução de água salgada foi preparada utilizando 800 mL de água e 20 g de sal marinho, com base na concentração média de sal encontrada na água do mar, cuja densidade de 1020° utilizando aproximadamente 25 gramas por litro, correspondendo a cerca de 2,5% do peso da água.

Essa solução de água salgada foi fervida em um recipiente fechado, onde, após a ebulição, foi aguardado mais cinco minutos e em seguida, desligou-se o aquecimento. É importante destacar que o procedimento foi feito em um sistema fechado para não haver a alteração da salinidade. A água foi deixada resfriar até alcançar a temperatura ambiente para colocar dentro do sistema.

Com o objetivo de evitar o choque osmótico no fitoplâncton devido à elevação do pH após a fervura (que chegava até 12), o meio foi submetido à aeração durante 6 horas, com o auxílio de uma bomba de aquário, conforme ilustrado na Figura 4. Esse processo permitiu que o pH retornasse a níveis adequados para o crescimento das microalgas.

Figura 4 - Sistema de Aeração com a água salgada antes da inoculação



Fonte: Autora, 2025.

Após as 6h de aeração, foi feita a medição do pH para verificar se retornou aos níveis adequados para sua melhor garantia, assim, verificou-se que a faixa do pH era entre (8-10), como mostra a Figura 5, sendo propício para a inoculação do fitoplâncton.

Figura 5 - Verificação do pH antes da inoculação

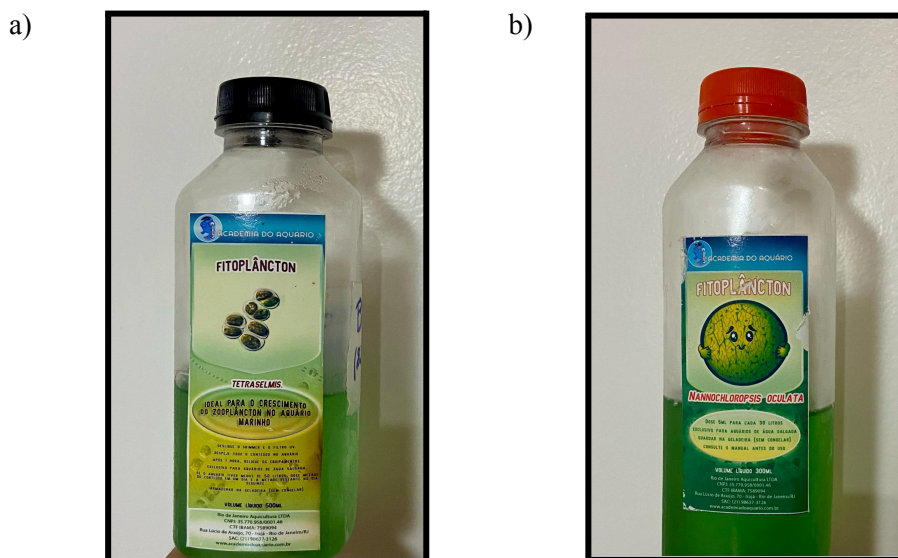


Fonte: Autora, 2025.

4.2. Obtenção das microalgas

Tanto as espécies *Nannochloropsis oculata* e *Tetraselmis tetrahele* foram obtidas de uma parceria com uma instituição de aquicultura, Academia do Aquário, localizada na cidade do Rio de Janeiro - RJ. Foi fornecido 500 mL de cada espécie em sua forma concentrada, sendo necessário sua reprodução para iniciar os estudos, Figura 6.

Figura 6 - Fitoplânctons vivos concentrados: a) *Tetraselmis tetrahele* e b) *Nannochloropsis oculata*.



Fonte: Autora, 2025.

4.3. Inoculação do Fitoplâncton

O recipiente contendo os fitoplânctons, previamente armazenado sob refrigeração, foi retirado do ambiente frio 1 hora antes do experimento, a fim de adaptá-lo à temperatura ambiente.

Posteriormente a espera, foram retirados rapidamente 200 mL dos fitoplânctons, utilizando uma seringa, que foi esterilizada, e foi transferida para o sistema com aeração, contendo os 800 mL da água salgada. Após a inoculação do fitoplâncton, o sistema foi imediatamente fechado.

A luz desempenha um papel central na produtividade de microalgas uma vez que fornece a energia necessária para as reações fotossintéticas, promovendo a conversão de nutrientes inorgânicos, dissolvidos no meio, em biomassa orgânica. A utilização de luz é,

portanto, fundamental para o elevado rendimento da biomassa microalgal (SUTHERLAND et al., 2015).

Como o objetivo deste trabalho era simular um ambiente o mais próximo possível da realidade, a utilização de uma fonte luminosa se tornou imprescindível. Dessa forma, atendendo à necessidade de luz, um fator essencial para o crescimento das microalgas, foi empregada iluminação artificial, por meio de uma lâmpada de Diodo Emissor de Luz (LED) com especificações de 9W e 6500K, conforme mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Sistema com Fitoplâncton inoculado



Fonte: Autora, 2025.

Assim, o fotoperíodo foi estabelecido um ciclo de 16 horas acesa e apagada durante 8 horas, simulando as condições naturais da luz e promovendo o crescimento adequado para os fitoplânctons.

4.4. Utilização do Meio da Fórmula Guillard's F/2

Para garantir um crescimento específico dos fitoplânctons, foi utilizado o meio, também conhecido como Fórmula Guillard's, chamado F/2, Figura 8.

Figura 8 - F2 - Fórmula Guillard - Alimento para fitoplâncton



Fonte: Autora, 2025.

O F2 da Academia do Aquário é feito exatamente como sua fórmula original e contém somente os nutrientes específicos para o crescimento de microalgas, Figura 9.

Figura 9 - Nutrientes F2 - Fórmula Guillard



Fonte: Autora, 2025.

O meio de cultura foi mantido em temperatura ambiente, variando entre 25°C e 30°C, e seu pH foi controlado dentro da faixa de 8,0 a 10,0, considerada ideal para o cultivo de microalgas, conforme estudos que indicam que essa faixa de pH favorece o crescimento, o bom funcionamento celular e a produtividade das microalgas (Tripathi et al., 2015).

A Figura 10, apresenta a concentração dos principais nutrientes utilizados.

Figura 10 - Composição do F2

Nutrient ¹⁾	Amount (g)
Solution A: Nitrate and phosphate stock solution (1 L)	
NaNO ₃	84.15
Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	6.0
FeCl ₃ · 6H ₂ O	2.90
Na ₂ EDTA · 2H ₂ O	10.0
Solution B: Silicate stock solution (1 L)	
Na ₂ SiO ₃ · 9H ₂ O	33.0
Solution C: Trace metal stock solution (1 L)	
CuSO ₄ · 5H ₂ O	1.96
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	4.40
Ma ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	1.26
MnCl ₂ · 4H ₂ O	36.0
CoCl ₂ · 6H ₂ O	2.0
Solution D: Vitamins stock solution (1 L)	
Vitamine B ₁	0.4
Vitamine B ₁₂	0.002 mg
Biotin	0.1.mg

Fonte: Autora, 2025.

No sistema contendo o fitoplâncton e a água salgada, foi adicionado 1 mL do meio de cultura preparado. Após essa adição, o pH foi constantemente monitorado utilizando um medidor de pH digital, com o objetivo de manter essa variável dentro dos níveis ideais, como citada acima. A aferição regular do pH foi essencial para garantir um ambiente controlado e favorável ao crescimento e à atividade metabólica das microalgas.

Feito isso, esperou-se um tempo para reprodução da microalga, o qual durou em torno de 07 (sete) dias. A concentração das microalgas no momento da colheita (final da reprodução) deve ser maior em comparação ao início do cultivo, o que pode ser avaliado visualmente pela densidade da cor. Vale ressaltar, que o crescimento de uma espécie para outra pode variar, sendo que algumas podem atingir o estágio ideal de reprodução antes das demais.

4.5. Produção de Oxigênio Dissolvido

Para a determinação do desempenho da produção de oxigênio foi necessário medir, primeiramente, o Oxigênio Dissolvido (OD) presente na solução.

O método de Winkler é utilizado para determinar a concentração de oxigênio dissolvido na água. Inicialmente, adiciona-se à amostra uma solução de sulfato manganoso (MnSO_4), seguida por uma solução alcalina contendo hidróxido de potássio (KOH) e iodeto de potássio (KI). O oxigênio presente reage com o manganês(II), formando um precipitado manganês oxidado. Em seguida, adiciona-se ácido sulfúrico (H_2SO_4) para acidificar o meio, o que promove a liberação de iodo (I_2) a partir do iodeto. Esse iodo, proporcional ao oxigênio dissolvido, permite a concentração de oxigênio na amostra.

Com o objetivo de assegurar a homogeneidade da amostra, o frasco foi invertido de forma controlada, com uma simples inversão, após a adição dos reagentes. A coloração resultante foi então comparada à escala de cores padrão fornecida pelo fabricante, permitindo a determinação quantitativa da concentração de oxigênio dissolvido.

Para isso, foi medido todos os dias de cultivo, ou seja, dia das reproduções, o OD dissolvido por meio do método de Winkler, o qual consiste em retirar uma amostra da solução contendo as microalgas, e adicioná-las em um frasco de 5 mL apropriado para DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio).

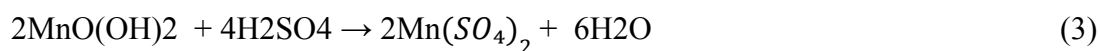
Após a coleta, com o auxílio de uma seringa esterilizada, será adicionados primeiramente à amostra 4 gotas de solução de sulfato manganoso (MnSO_4), posteriormente 4 gotas de hidróxido de potássio, KOH e iodeto de potássio, KI, e por último 4 gotas de ácido sulfúrico. A amostra em contato com os reagentes mudaria a sua coloração, fazendo uma inversão suave do tubo, sendo assim, determinar a quantidade de OD presente.

Ao adicionar o primeiro reagente, forma-se o hidróxido manganoso, que desempenha um papel crucial na captura do oxigênio dissolvido presente na amostra, sendo um processo essencial para a análise da concentração de oxigênio. A fixação do oxigênio dissolvido ocorrerá através da formação de óxido de manganês (precipitado), segundo as reações:



Logo após ocorrerá a liberação de iodo, que sucederá após a adição de ácido sulfúrico concentrado, o qual provocará a ressolubilização do manganês e o desenvolvimento de uma

coloração amarelada, cuja intensidade será proporcional à concentração de oxigênio dissolvido presente inicialmente na amostra. Esta reação será expressada por:

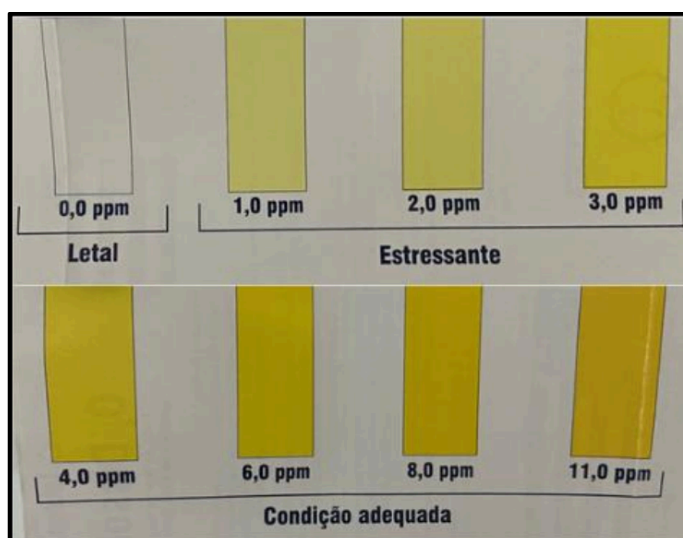


Dessa forma, uma reação imediata irá ocorrer entre o $\text{Mn}(\text{SO}_4)_2$ e o iodeto de potássio adicionado anteriormente, o qual liberará iodo, resultando em água com coloração marrom:



Em seguida, após a adição dos reagentes à amostra, ela foi deixada em repouso por 5 minutos, permitindo o desenvolvimento completo da reação. Após esse período, a amostra foi comparada com a escala de cores apropriada, conforme o protocolo estabelecido para a determinação da concentração de oxigênio dissolvido (OD).

Figura 11 - Escala de Cores de OD.



Fonte: Autora, 2025.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Inoculação do Fitoplâncton

A Figura 12, mostra a evolução dos fitoplânctons *Nannochloropsis oculata* e *Tetraselmis tetrathele*, principalmente em sua coloração, pela análise do pH e no oxigênio dissolvido ao longo de sete dias.

Foi possível observar um escurecimento gradual da cultura, começando com uma coloração verde-clara no Dia 1 e evoluindo para um tom verde-escuro no Dia 7.

O escurecimento é um indicativo das culturas saudáveis de fitoplâncton em sua fase de crescimento. O escurecimento está relacionado com a alta taxa fotossintética, em sua fase inicial sendo suficiente em nutrientes e o ambiente está favorável para esse crescimento.

Com o decorrer do tempo de cultivo, observou-se um aumento de pigmento, o que favoreceu a intensificação do processo fotossintético. Esse processo resulta na maior produção e acúmulo de pigmentos, como a clorofila-a e os carotenóides, responsáveis pela coloração verde mais intensa das folhas. Além disso, a maior concentração desses pigmentos indica uma adaptação da planta às condições ambientais, mostrando a captura da energia luminosa para o crescimento e desenvolvimento.

Figura 12 - Escurecimento gradual durante 7 dias: a) *Nannochloropsis oculata* e b) *Tetraselmis tetrathele*.



Fonte: Autora, 2025.

Para o fitoplâncton *Nannochloropsis oculata* foi possível analisar visualmente um escurecimento mais acentuado quando comparado a *Tetraselmis tetrathele*. Porém, a partir do

dia 4 mostra que houve uma estabilização na coloração, assim explicado pela limitação de nutrientes.

Já para o fitoplâncton *Tetraselmis tetrathele*, a sua coloração continuou evoluindo ao longo dos dias, significado que não houve uma limitação de nutrientes.

5.2. Variação de pH

Com a variação do pH em conjunto com uma pesquisa mais profunda com a Academia do Aquário, os fitoplânctons em estudo tendem a ser dominados por ambientes mais alcalinos e assim com essa mudança na composição podem afetar a dinâmica da cadeia alimentar e a produtividade do ecossistema, Tabela 1. Por conta disso, o controle desse parâmetro é de extrema importância para o desenvolvimento e com isso para a produção de oxigênio.

A Tabela 1 apresenta os valores de pH obtidos para os dois tipos de fitoplânctons.

Tabela 1 - Valores do pH para os fitoplânctons.

Dia	pH	
	<i>Nannochloropsis oculata</i>	<i>Tetraselmis tetrathele</i>
01	9,1	9,3
02	9,9	9,5
03	9,9	9,7
04	10,0	9,8
05	10,0	10,2
06	10,0	10,3
07	10,1	10,6

Fonte: Autora, 2025.

Como foi mencionado acima, a faixa de pH está ótima para essas espécies de fitoplânctons, em torno de 9 - 10. Com isso, essa faixa de pH para essa cultura de fitoplâncton é realmente alta, já que eles têm tendência a um ambiente mais alcalino, com o pH mais alto.

Valores muito acima deste limite, sendo superior à 12, podem comprometer a eficiência do processo.

No cultivo da *Nannochloropsis oculata*, verificou-se um aumento contínuo do pH, o que pode ser explicado pela fixação de CO₂ pelas microalgas durante o processo de fotossíntese. Esse processo reduz a concentração de dióxido de carbono dissolvido na água, o que, por sua vez, contribui para a elevação do pH. Esse fenômeno é um indicativo da eficiência da fotossíntese e da dinâmica entre os componentes da água.

Na Tabela 1, relacionado a *Nannochloropsis oculata*, observa-se uma estabilidade no pH sendo explicado pela limitação dos nutrientes. Com isso, no 7º dia mostra-se um possível estresse do fitoplâncton, mostrando um indicativo de 0,1 na sua faixa de pH, esse aumento pode comprometer a eficiência de processos celulares vitais, como a absorção de nutrientes e a produção de oxigênio, prejudicando o equilíbrio metabólico das microalgas e afetando sua capacidade de crescimento e desenvolvimento.

No cultivo da *Tetraselmis tetrathele*, notou-se que o pH aumentou gradativamente, mostrado na Tabela 1, não tendo a sua estagnação e como mostrado na figura 12, a coloração teve esse mesmo aumento, explicado também por essa fixação de CO₂ no processo de fotossíntese porém de forma mais controlada que a *Nannochloropsis oculata*, principalmente, o consumo de nutrientes no cultivo. Mostrando também que, a faixa do pH foi ideal para o fitoplâncton.

A saturação salina do meio provoca estresse, que ocasiona a reação metabólica chamada carotenogênese, que é o aumento da produção de carotenóides pela célula a partir do estímulo ambiental. Os pigmentos se acumulam fora do cloroplasto e funcionam como tela protetora do centro de reação fotossintética, evitando excitação demasiada, e agem contra os tripletos de clorofila e as espécies reativas de oxigênio (Masojidek; Torzillo; Koblizek, 2013).

Em síntese, mesmo com o cultivo de 7 dias, o pH não diminuiu, mostrando que o meio saturou provocando assim, o estresse, afetando o metabolismo dos fitoplânctons.

5.3. Oxigênio dissolvido (OD)

A Figura 13. apresenta a aparência das amostras após cada reagente, utilizado pelo método Winkler.

Figura 13 - Aparência dos reagentes para determinar a concentração dos fitoplânctons: a) *Tetraselmis tetrathele* e b) *Nannochloropsis oculata*.



Fonte: Autora, 2025.

Os frascos contendo as amostras foram tratados com os reagentes específicos: sulfato manganoso, hidróxido de potássio + iodeto de potássio, ácido sulfúrico, sendo o procedimento de titulação para a determinação de OD. A Figura 13 mostra, a coleta inicial com a adição de sulfato manganoso, a adição de hidróxido de potássio e iodeto de potássio após a mistura por simples inversão, e, por último, a adição de ácido sulfúrico.

Após a adição dos 3 reagentes, manteve o tubo em repouso por 5 minutos, para a ser feita a comparação da cor desenvolvida pela escala de cores, preferencialmente sob luz natural. Essa cor foi comparada com a escala da figura 11, sendo feita de forma visível e assim, foram obtidos os valores de oxigênio dissolvido de cada amostra em ppm ou em mg/L.

A Figura 14, mostra a primeira amostra de *Tetraselmis tetrathele* e *Nannochloropsis oculata*, respectivamente, sendo comparada com a escala de cores de OD em luz natural e de forma visível.

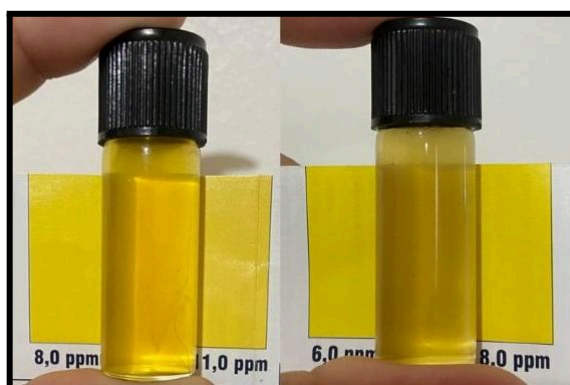
Figura 14 - Primeiras amostras de fitoplânctons sendo comparada com a escala de cores de OD.



Fonte: Autora, 2025.

Na Figura 15, mostra as últimas amostras, ou seja, 7º dia de cultivo, sendo comparada com a escala de cores de OD, para mostrar a eficácia de ambas no processo de fotossíntese.

Figura 15 - Últimas amostras de fitoplânctons sendo comparada com a escala de cores de OD.



Fonte: Autora, 2025.

Com isso, a Tabela 2 apresenta os valores de OD obtidos ao longo dos 7 dias de experimento, tanto para a *Tetraselmis tetrathele* quanto para a *Nannochloropsis oculata*.

Tabela 2 - Valor de OD dos 7 dias de cultivo.

Dia	OD (ppm)	
	<i>Nannochloropsis oculata</i>	<i>Tetraselmis tetrathele</i>
01	3,0	4,0
02	3,0	4,0
03	4,0	4,0
04	4,0	6,0
05	6,0	6,0
06	6,0	8,0
07	6,0	8,0

Fonte: Autora, 2025.

Após analisar a *Nannochloropsis oculata* e *Tetraselmis tetrathele*, verificou-se que são grandes produtoras de oxigênio. Como o intuito do trabalho foi identificar qual fitoplâncton contribui de forma mais significativa para a produção de oxigênio, então a comparação e a escolha foi realizada de acordo com os valores de pH e de OD obtidos.

Embora, teoricamente, o pH e o OD sejam grandezas diretamente proporcionais devido à fotossíntese realizada pelas microalgas, na prática essa relação pode não se confirmar. Fatores como a densidade celular, a fase de crescimento das microalgas, a intensidade luminosa e a disponibilidade de nutrientes podem influenciar essa dinâmica, ocasionando variações nos valores de pH e OD ao longo do experimento.

Com isso, de acordo com a Tabela 1, que apresenta os valores de pH, observa-se que a *Nannochloropsis oculata* apresentou uma estagnação, indicando, ao final do 7º dia, um possível estresse causado pela limitação de nutrientes. Já na Tabela 2, referente aos valores de oxigênio dissolvido, a mesma microalga apresentou uma produção estabilizada ao final do cultivo, o que reforça a hipótese de estresse e deficiência nutricional.

Em relação ao pH e ao oxigênio dissolvido (OD) para o fitoplâncton *Tetraselmis tetrathele*, observa-se na Tabela 1 um aumento gradativo dos valores de pH, indicando um controle mais eficiente no consumo de nutrientes e, conseqüentemente, uma menor tendência ao estresse em curto prazo. Da mesma forma, na Tabela 2, os valores de OD também apresentaram um crescimento gradual, evidenciando uma maior eficiência fotossintética quando comparada à *Nannochloropsis oculata*.

Tendo em vista o que foi apresentado, pode-se concluir que o fitoplâncton com maior eficiência neste experimento foi a *Tetraselmis tetrathele*, uma vez que apresentou maior produção de oxigênio, conforme os valores de OD. Vale destacar que esse cultivo também proporcionou uma limitação de nutrientes, já que foi alimentado apenas uma única vez durante todo o experimento. Essa eficiência pode ser atribuída à forma como a *Tetraselmis tetrathele* lidou com a limitação nutricional, ao contrário da *Nannochloropsis oculata*, que demonstrou sinais de estresse, refletidos na estabilização da produção de oxigênio. Esse resultado vai de encontro à teoria que relaciona diretamente a disponibilidade de nutrientes ao aumento contínuo na produção de OD.

6. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, constatou-se que, em termos de taxas de oxigênio dissolvido (OD), o fitoplâncton com maior eficiência foi a *Tetraselmis tetrathele*. Isso se deve ao seu comportamento estável em relação ao pH, mantendo-se em uma condição favorável e consumindo os nutrientes de forma progressiva. Em contrapartida, a *Nannochloropsis oculata*, sob as mesmas condições, apresentou sinais de estresse, o que resultou na estabilização precoce de sua produção de oxigênio.

Vale destacar que a temperatura foi estabelecida para cada fitoplâncton, porém, a *Nannochloropsis oculata* pode ter sido mais afetada, considerando que não foi possível atingir a temperatura na qual ela se adequasse, resultando em temperaturas mais amenas do que as ideais para o seu desenvolvimento. Segundo a literatura, mostrado no tópico 3.3.2.1, esses fitoplânctons são mais resistentes em temperaturas acima de 25°C, o que pode ter contribuído para o estresse observado. Além disso, não houve reposição da fórmula de Guillard ao longo do cultivo, demonstrando que a quantidade inicialmente adicionada foi suficiente para atingir os objetivos do estudo.

Com isso, a temperatura acabou favorecendo a resistência do cultivo de *Tetraselmis tetrathele*, que demonstrou maior capacidade de adaptação à limitação nutricional. Essa resiliência contribuiu para uma maior eficiência fotossintética, resultando em um aumento na produção de oxigênio.

Por fim, é importante destacar que a temperatura, o pH e a limitação nutricional foram fatores determinantes para os resultados obtidos, os quais estão em conformidade com o que é descrito na literatura. Esses comportamentos reforçam a importância de estudos mais aprofundados, realizados em ambientes controlados, com temperaturas compatíveis à resistência das espécies, técnicas mais precisas de controle do pH e, por fim, mas não menos importante, com adequada disponibilidade de nutrientes, a fim de evitar o estresse celular após sete dias de cultivo.

7. REFERÊNCIAS

ALGAE, 2023.

AMBIENTE LEGAL. São Paulo no sufoco. *Ambiente Legal*, 01 fev.. 2016.

BAICHA, Z. et al. **A critical review on microalgae as an alternative source for bioenergy production: a promising low cost substrate for microbial fuel cells.** *Fuel Processing Technology*, v. 154, p. 104–116, 2016.

BIOICOS. **Oceanos: os verdadeiros pulmões do mundo.** *Bioicos*, 2021.

BORGES, L.; FARIA, B. M.; ODEBRECHT, C.; ABREU, P. C. **Potencial de absorção de carbono por espécies de microalgas usadas na aquicultura: primeiros passos para o desenvolvimento de um “mecanismo de desenvolvimento limpo”.** *Atlântica*, Rio Grande, v. 29, n. 1, p. 35-46, 2007.

CARVALHO, Kleyson. **LIQUID 3: "Árvore Líquida" é criada para combater poluição em cidades densas.** 29 mar. 2023.

CNN BRASIL. **Cidades de São Paulo lideram ranking de poluição do ar no Brasil**, aponta estudo. *CNN Brasil*, 7 set. 2024.

EMBRAPA, 2023.

FINKEL, Z.V.; BEARDALL, J.; FLYNN, K.J.; QUIGG, A.; REES, T.A.V. & RAVEN, J.A. 2010. **Phytoplankton in a changing world: cell size and elemental stoichiometry.** *Journal of Plankton research*, 32: 119-137.

GALINA, DAIANA. **Estudo das tecnologias para produção de biodiesel a partir de microalgas do gênero *Nannochloropsis*.** [S.l.]: ResearchGate, 2018.

GONZALEZ, E. G. et al. **Bioprospection of green microalgae native to Paraná, Brazil using a multi-criteria analysis: Potential for the production of lipids, proteins, and carotenoids.** *Bioresource Technology Reports*, v. 10, p. 100398, jun. 2020.

LG Sonic. (2023). *Água Industrial: A Interação Entre os Níveis de pH e as Algas*. LG Sonic.

MASOJIDEK, J.; TORZILLO, G.; KOBLIZEK, M. Photosynthesis in Microalgae. In: **Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology**. 2. ed. United Kingdom: John Wiley & Sons, 2013. p. 21-36.

- MEHARIYA, S., GOSWAMI, R. K., KARTHIKEYSAN, O. P., & VERMA, P. **Microalgae for high-value products: A way towards green nutraceutical and pharmaceutical compounds.** Chemosphere, v. 280, p. 130553, 2021.
- MEINERZ L.I. 2007. **Influência da Temperatura, salinidade e nutrientes dissolvidos (N e P) no cultivo de microalgas de água estuarina e costeira.** Dissertação, Universidade Federal do Rio Grande.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Página inicial, 2024.
- PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION. **Novos dados da OMS revelam que bilhões de pessoas ainda respiram ar insalubre.** *PAHO*, 4 abr. 2022.
- PLANETA BIOLOGIA. **Sistema dos três domínios dos seres vivos**, 2023.
- REYNOLDS, C.; HUSZAR, V.; KRUK C.; NASELLI-FLORES, L. & MELO, S. 2002. **Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton.** Journal of Plankton research, 24: 417-428.
- REYNOLDS, C.S. 2006. **Ecology of Phytoplankton**, Cambridge University Press, Cambridge, UK. 535p.
- SANTOS, VANESSA. Biologia Net. **Algas**, 2023.
- SCHMITZ, R.; MAGRO, C. D.; COLLA, L. M. APLICAÇÕES AMBIENTAIS DE MICROALGAS. **Revista CIATEC-UPF**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 48-60, 2012.
- SUTHERLAND, Donna L. et al. **The effects of CO₂ addition along a pH gradient on wastewater microalgal photo-physiology, biomass production and nutrient removal.** *Water research*, v. 70, p. 9-26, 2015.
- TRIPATHI, Ritu; SINGH, Jyoti; THAKUR, Indu Shekhar. **Characterization of microalga Scenedesmus sp. ISTGA1 for potential CO₂ sequestration and biodiesel production.** *Renewable Energy*, v. 74, p. 774-781, 2015.
- TOMASELLI, L. The Microalgal Cell. In: RICHMOND, A (Ed.). **Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology**: Blackwell Science Ltd, 2004. cap. 1, p. 588.
- UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **Texto da UDESC**, 2021.
- VAN DER HA, D; NACHTERGAELE, L; KERCKHOF, F. M.; RAMEIYANTI, D. et al. Conversion of biogas to bioproducts by algae and methane oxidizing bacteria. **Environmental Science & Technology**, 46, n. 24, p. 13425-13431, Dec, 2019.

WANG, Y. et al. Bioresource Technology Cultivation of *Chlorella vulgaris* JSC-6 with swine wastewater for simultaneous nutrient / COD removal and carbohydrate production.

Bioresource Technology, v. 198, p. 619–625, 2015.

YAP, J. K., SANKARAN, R., CHEW, K. W., HS, H. M., HO, S. H., & SHOW, P. L.

Advancement of green technologies: A comprehensive review on the potential application of microalgae biomass. *Chemosphere*, v. 281, 2021.