



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA DE BIOTECNOLOGIA E BIOPROCESSOS
CURSO DE ENGENHARIA DE BIOTECNOLOGIA E BIOPROCESSOS**

EMANUELLE BEZERRA DOS SANTOS

**INFLUÊNCIA DO BIOESTIMULANTE A BASE DE FARINHA DE ALGAS
ARRIBADAS NO CRESCIMENTO DA LENTILHA D'ÁGUA (*Wolffia
brasiliensis*) EM SISTEMA HIDROPÔNICO**

**SUMÉ - PB
2023**

EMANUELLE BEZERRA DOS SANTOS

**INFLUÊNCIA DO BIOESTIMULANTE A BASE DE FARINHA DE ALGAS
ARRIBADAS NO CRESCIMENTO DA LENTILHA D'ÁGUA (*Wolffia
brasiliensis*) EM SISTEMA HIDROPÔNICO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos.

Orientador: Professor Dr. Bruno Rafael Pereira Nunes.

Professora Dra. Carina Seixas Maia Dornelas.

SUMÉ - PB

2023



S237i Santos, Emanuelle Bezerra dos.

Influência do bioestimulante a base de farinha de algas arribadas no crescimento da lentilha d'água (*Wolffia brasiliensis*) em sistema hidropônico. / Emanuelle Bezerra dos Santos. - 2023.

60 f.

Orientador: Professor Dr. Bruno Rafael Pereira Nunes; Coorientadora: Profa Dra. Carina Seixas Maia Dornelas.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos.

1. Algas arribadas. 2. Hidroponia. 3. *Wolffia brasiliensis*. 4. Lentilha d'água. 5. Sistema hidropônico. 6. Análise sinética. 7. Solução nutritiva. 8. Shapiro-wilk. I. Nunes, Bruno Rafael Pereira. II. Dornelas, Carina Seixas Maia. III. Título.

CDU: 60 (043.1)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626

EMANUELLE BEZERRA DOS SANTOS

**INFLUÊNCIA DO BIOESTIMULANTE A BASE DE FARINHA DE ALGAS
ARRIBADAS NO CRESCIMENTO DA LENTILHA D'ÁGUA (*Wolffia
brasiliensis*) EM SISTEMA HIDROPÔNICO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos.

BANCA EXAMINADORA:

**Professor Dr. Bruno Rafael Pereira Nunes.
Orientador – UAEB/CDSA/UFCG**

**Professora Dra. Carina Seixas Maia Dornelas
Examinador I – UATEC/CDSA/UFCG**

**Professora Dra. Lenilde Mérgia Ribeiro Lima.
Examinadora I – UATEC/CDSA/UFCG**

**Professor Dr. Janduy Guerra Araújo.
Examinador II – UATEC/CDSA/UFCG**

**Professora Dra. Vera Lúcia Meira de Moraes Silva.
Examinadora Externa – Universidade Estadual da Paraíba**

Trabalho aprovado em: 14 de julho de 2023.

SUMÉ - PB

*Aos meus amados pais, alicerces fundamentais da
minha formação como ser humano.*

AGRADECIMENTOS

Aos meus queridos pais, Manoel e Lúcia, gostaria de expressar minha profunda gratidão. Por sempre me apoiaram, amaram e acreditaram em mim, mesmo nos momentos em que eu mesmo duvidava de mim. Foram vocês que me ensinaram a não desistir diante das dificuldades, a persistir em meus sonhos e viver a vida sempre com alegria, força e coragem.

Aos meus irmãos Bruno, Luciana e Edvânia, por todo apoio e amor, esta conquista é nossa família! Pois, cada passo dado só foi possível graças ao amor e apoio incondicionais que recebi de vocês.

Aos meus amados Judieldo Moraes, Crisóstomo Trajano e Maxsuel Leal, expresse meu sincero agradecimento. Sem vocês, minha jornada teria sido diferente e menos especial. Estão guardados em mim cada momento que compartilhamos e todas as memórias que criamos juntos,

Aos meus colegas da Residência Universitária que se tornaram minha família para mim, Em especial às minhas colegas de quarto: Mônica Rocha, Luzia Moura, Yara e Manoela Luiza, muito obrigada pela convivência calma em meio a tanto caos. Vocês são como irmãs para mim, vou sempre guardar vocês em coração; e aos amigos: Dayse Freitas, Amanda Souza, Caroline Freitas, George Lacerda, Eliel Gomes, Amélia Lopes, Laura Araujo, Micilene Araújo, Caio Azevedo, Ray, Eduardo, Lucas Wagner, José Carlos, Elizandra Sarana, Georgia Luana, Aline Pimentel, Tamires Santos, entre tantos outros.

Sou imensamente grata à minha turma de 2015.1, composta por Marco Silva, Davi Neves e Rainy Sousa, por sua amizade e apoio durante nossa jornada acadêmica.

Aos técnicos de laboratório Agnis Nascimento, Danielle Varela e Cícero Dunes por todo auxílio, apoio, colaboração e paciência comigo na realização deste trabalho.

Agradeço o professor Dr. Bruno Nunes pela orientação e o empenho na realização deste trabalho; por toda paciência, atenção e carinho comigo. Serei eternamente grata por todos os ensinamentos e conselhos. A Coorientadora Professora Dra. Carina Seixas Maia Dornelas pelos ensinamentos e confiança em mim investidos.

À banca examinadora, obrigada pelas contribuições.

A todos que fazem parte do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, meu profundo agradecimento por suas contribuições em minha formação acadêmica. A todos que me ajudaram e apoiaram, direta ou indiretamente, meu sincero reconhecimento e gratidão.

"Para sobreviver, um ser orgânico deve perceber - ele deve buscar, ou pelo menos reconhecer, alimento e evitar perigos ambientais."

Lynn Margulis

RESUMO

O crescimento populacional, as mudanças climáticas e a degradação dos recursos hídricos e terrestres têm impactado negativamente a segurança alimentar global. Para enfrentar esse desafio, é crucial adotar práticas sustentáveis na produção de alimentos e buscar fontes alternativas de proteína. Nesse contexto, a lentilha d'água surge como uma solução promissora. Essa planta aquática versátil pode ser cultivada de forma hidropônica, minimizando o consumo de água e reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos. Além disso, a lentilha d'água é rica em nutrientes essenciais, o que a torna uma opção alimentar saudável. Ao utilizar em seu cultivo farinha de algas arribadas como bioestimulante, é possível potencializar ainda mais os benefícios desse cultivo, contribuindo para uma produção sustentável e nutritiva. Para a realização desse trabalho a espécie *Wolffia brasiliensis* foi identificada e foram selecionadas as mais saudáveis para o acompanhamento do cultivo, visando investigar o impacto da variável concentração do bioestimulante sobre a taxa de crescimento relativo e taxa de duplicação calculados a partir da massa e do número de frondes da lentilha d'água. Foram analisados quatro níveis de concentração (0%, 2%, 4% e 6%), com cultivo e análises realizados em triplicata ao longo de oito dias. Foram acompanhados a variação da temperatura (°C), pH, condutividade elétrica (CE), salinidade (PSU), oxigênio dissolvido (%DO), turbidez (FNU) e sólidos totais dissolvidos (TDS) presentes na solução nutritiva. A partir dos dados obtidos, realizou-se a análise cinética dos parâmetros. Foi realizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk para as variáveis dependentes, constatando que as taxas de crescimento relativo e de duplicação seguem uma distribuição normal, permitindo a utilização de métodos estatísticos paramétricos. Verificou-se que as taxas de crescimento relativo aumentaram com maiores concentrações de bioestimulante, enquanto as taxas de duplicação diminuíram, indicando que há influência do fator sobre as respostas. Modelos estatísticos linear, quadrático e cúbico foram propostos para representar a relação entre as variáveis, sendo que os resultados para todas as respostas, mostraram que o modelo cúbico apresentou o melhor coeficiente de determinação (R^2), indicando uma boa qualidade de ajuste. Os valores de obtidos foram significativamente maiores do que os valores tabelados, na região de rejeição com um nível de confiança de 95%, o que valida a utilização desses modelos para prever os resultados de TCR e TD dentro do intervalo de concentrações estudadas.

Palavras-chave: *Wolffia brasiliensis*; Shapiro-wilk; Análise cinética; Hidroponia, Solução nutritiva.

ABSTRACT

Population growth, climate change, and the degradation of water and soil resources have negatively impacted global food security. To address this challenge, it is crucial to adopt sustainable practices in food production and seek alternative sources of protein. In this context, duckweed emerges as a promising solution. This versatile aquatic plant can be cultivated hydroponically, minimizing water consumption and reducing the need for chemical fertilizers. Furthermore, duckweed is rich in essential nutrients, making it a healthy food option. By using arribadas seaweed flour as a bio-stimulant in its cultivation, it is possible to further enhance the benefits of this crop, contributing to sustainable and nutritious production. For this study, the species *Wolffia brasiliensis* was identified, and the healthiest plants were selected for monitoring the cultivation, aiming to investigate the impact of the variable concentration of the bio-stimulant on the relative growth rate and doubling time calculated from the mass and number of fronds of duckweed. Four concentration levels (0%, 2%, 4%, and 6%) were analyzed, with cultivation and analyses performed in triplicate over eight days. The behavior of temperature (°C), pH, electrical conductivity (EC), salinity (PSU), dissolved oxygen (%DO), turbidity (FNU), and total dissolved solids (TDS) present in the nutrient solution was monitored. Based on the obtained data, a kinetic analysis of the parameters was performed. The Shapiro-Wilk normality test was conducted for the dependent variables, confirming that the relative growth rate and doubling time follow a normal distribution, allowing the use of parametric statistical methods. It was found that the relative growth rates increased with higher concentrations of the bio-stimulant, while the doubling rates decreased, indicating an influence of the factor on the responses. Linear, quadratic, and cubic statistical models were proposed to represent the relationship between the variables, and the results for all responses showed that the cubic model had the best coefficient of determination (R^2), indicating a good fit quality. The obtained F-values were significantly higher than the tabulated values in the rejection region with a confidence level of 95%, validating the use of these models to predict the results of RGR and DT within the studied concentration range.

Keywords: *Wolffia brasiliensis*; Shapiro-wilk; Kinetic analysis; Hydroponics; Nutrient solution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - (A) Algas Arribadas na faixa de areia da praia de Cabo de Branco, (B) Material descartado, (C) Lavagem do material (D) processo de secagem das Algas.	24
Figura 2 - (A) Farinha produzida a partir das algas arribadas coletadas, (B) Solução estoque, (C) O processo de filtração da solução, (D) Solução de bioestimulante.....	25
Figura 3 - Kit de nutrientes completo para hidroponia (Flex Vermelho + Flex Azul).....	27
Figura 4 - Frondes de <i>Wolffia brasiliensis</i> no momento da coleta	28
Figura 5 - Bandejas de poliestireno utilizadas durante o experimento.	28
Figura 6 - (A) A casa de vegetação utilizada durante o experimento e (B) Lona para proteção das bandejas.	29
Figura 7 - Medidor multiparâmetro portátil modelo HI9829.	30
Figura 8 - Fluxograma experimental.	31
Figura 9 - Vista da <i>Wolffia brasiliensis</i> em brotamento e <i>Lemna aequinoctialis</i> apresentando plântula com semente aderida.....	32
Figura 10 - Perfil da variável pH no meio de cultivo durante 8 dias, em função da concentração do bioestimulante.....	34
Figura 11 - Perfil da variável condutividade elétrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$) no meio de cultivo durante 8 dias, em função da concentração do bioestimulante.	35
Figura 12 - Perfil da variável salinidade (PSU) no meio de cultivo durante 8 dias, em função da concentração do bioestimulante.....	36
Figura 13 - Perfil da variável turbidez (FNU) no meio de cultivo durante 8 dias, em função da concentração do bioestimulante.....	37
Figura 14 - Perfil da variável oxigênio dissolvido (% OD) no meio de cultivo durante 8 dias, em função da concentração do bioestimulante.	38
Figura 15 - Perfil da variável potencial de oxidação/redução (ORP) no meio de cultivo durante 8 dias, em função da concentração do bioestimulante.....	39
Figura 16 - Perfil da variável sólidos totais dissolvidos (STD) no meio de cultivo durante 8 dias, em função da concentração do bioestimulante	40
Figura 17 - Perfil da variável temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no meio de cultivo durante 8 dias, em função da concentração do bioestimulante.....	41
Figura 18 - Número de frondes no início e ao final de 8 dias de cultivo, em função da concentração do bioestimulante.....	42

Figura 19 - Massa de lentilhas d'água no início e ao final de 8 dias de cultivo, em função da concentração do bioestimulante.....43

Figura 20 - Taxa de crescimento relativo à massa e ao número de frondes, em função da concentração do bioestimulante.....43

Figura 21 - Tempo de duplicação (dias) relativo à massa e ao número de frondes e, em função da concentração do bioestimulante.....44

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Flex vermelho, composição: Micros quelatizados EDTA, além de nitrato de potássio, MKP, MAP Cristal, entre outros.26
- Tabela 2** - Flex Azul. composição: Nitrato De Cálcio, nitrato de magnésio e agente corante ..26
- Tabela 3** - Hierarquia taxonômica completa da *Wolffia brasiliensis*. Segundo taxonomia do NCBI (2020): uma atualização abrangente sobre curadoria, recursos e ferramentas.33
- Tabela 4** - Dados de análise de variância para o modelo cúbico obtidos para as respostas TCR e TD, referentes a massa.....45
- Tabela 5** - Dados obtidos para as respostas TCR e TD, referentes ao número de frondes46

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

°C	Graus Celsius
CE	Condutividade elétrica
Cm	Centímetro
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura)
g	Gramas
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
L	Litro
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
pH	Potencial hidrogeniônico
PSU	Escala Prática de Salinidade
OD	oxigênio dissolvido
ORP	Potencial de oxidação-redução
FNU	Unidades Nefelométricas de Formazina
KOH	Hidróxido de potássio
TCR	Taxa de crescimento relativa das plantas
TD	Tempo de duplicação
TDS	Sólidos totais dissolvidos
NCBI	Centro Nacional de Informações sobre Biotecnologia
PB	Paraíba
UAEB	Unidade Acadêmica de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
v/v	Volume/volume

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3.1 LENTILHA D'ÁGUA	14
3.2 <i>Wolffia brasiliensis</i>	15
3.3 CULTIVO DE LENTILHA-D'ÁGUA	17
3.4 HIDROPONIA	18
3.5 SOLUÇÃO NUTRITIVA	19
3.6 BIOESTIMULANTES	20
3.7 ALGAS ARRIBADAS.....	21
4 METODOLOGIA	23
4.1 IDENTIFICAÇÃO DA ESPÉCIE.....	23
4.2 OBTENÇÃO DO BIOESTIMULANTE E DA SOLUÇÃO NUTRITIVA	23
4.3 OBTENÇÃO E CULTIVO	27
4.4 TAXA DE CRESCIMENTO	29
4.5 ACOMPANHAMENTO CINÉTICO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA	30
4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1 IDENTIFICAÇÃO E TAXONOMIA DA ESPÉCIE <i>Wolffia brasiliensis</i>	32
5.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	45
6 CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

O constante crescimento demográfico mundial, as mudanças climáticas e a degradação dos recursos hídricos e fundiários têm impactado diretamente a segurança alimentar da população global (IPCC, 2021). A degradação dos recursos hídricos é um problema grave, já que a água é essencial para a produção de alimentos (FAO, 2021a). Além disso, a degradação dos recursos fundiários tem diminuído a área disponível para a agricultura, o que pode levar à diminuição da produção de alimentos (FAO, 2021b). Conjuntamente, a intensificação da pecuária, a produção em grande escala e a utilização de técnicas inadequadas, tem aumentado ainda mais os impactos negativos da atividade sobre as terras aráveis (FAO, 2020).

A combinação desses fatores pode desencadear problemas como o aumento da fome e da desnutrição em todo o mundo (FAO, 2021c). Já são 828 milhões pessoas que passam fome em 2022, e essa situação pode se agravar devido às crises atuais como a pandemia da Covid-19, guerra na Ucrânia e mudanças climáticas segundo relatório de 2022 da The State of Food Security and Nutrition in the World (SOFI) (UNICEF, 2022).

Por estas razões, é essencial que se adotem práticas sustentáveis quanto aos métodos de cultivo dos alimentos e no uso dos recursos naturais, tornando cada vez mais importante a busca por fontes alternativas de proteína, que possam apresentar vantagens nos aspectos nutricional e ambiental.

A lentilha d'água, ou *duckweed*, é uma planta aquática com diversas aplicações em áreas como alimentação humana e animal, biocombustíveis, biorremediação e produção de produtos químicos e farmacêuticos. Além disso, tem demonstrado um grande potencial em novas áreas de pesquisa. No que diz respeito à alimentação humana, a lentilha d'água é uma fonte rica em proteínas, vitaminas, minerais e outros nutrientes importantes (GARCIA *et al.*, 2021).

Visando a produção de alimentos em pequena escala e em locais com recursos limitados, como o cultivo da lentilha d'água, a hidroponia tem se destacado como uma alternativa viável e eficiente (Li *et al.*, 2021), sem a utilização do solo, com aplicação de condições controladas e de uma solução nutritiva. Portanto, a técnica de cultivo hidropônico apresenta um potencial significativo para a redução do uso de água e de fertilizantes, o que pode ter um impacto positivo no meio ambiente (RYLOTT, JACKSON, 2020).

Existem diferentes tipos de soluções nutritivas usadas no cultivo hidropônico, dependendo das necessidades específicas das plantas e do sistema de cultivo. Algas marinhas

têm sido utilizadas como fertilizantes há muito tempo, e atualmente é um biofertilizante agrícola que vem sendo comercializado na forma de extrato líquido ou farinha, oferecendo vantagem em relação ao uso de fertilizantes químicos. Booth (1985) defende que as quantidades elevadas de nitrogênio, potássio e cálcio encontrados em algas possibilitam seu uso como fertilizante. O uso de algas marinhas melhora as características morfológicas da planta, o rendimento e a qualidade e atuam como bioestimulante e biofungicida (Sarkar *et al.* 2018).

Nesse contexto, torna-se importante avaliar o efeito de uma solução nutritiva elaborada com a adição de farinha de algas arribadas aplicada ao cultivo de lentilha d'água (*Wolffia brasiliensis*) em sistema hidropônico, sendo esse método menos agressivo ao meio ambiente, podendo ser uma alternativa a produção em grande escala e a utilização de técnicas inadequadas e gerar uma nova fonte de alimento, rico em proteínas e nutrientes essenciais à nutrição humana.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar substitutos naturais baseados em algas marinhas como bioestimulante em sistema hidropônico, visando a diminuição de produtos químicos utilizados na agricultura, especialmente fertilizantes, como fonte de nutrientes para o cultivo de lentilhas d'água.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Coletar, selecionar, identificar e caracterizar a lentilha d'água a ser utilizada nos ensaios experimentais;
- Acompanhar o comportamento das variáveis temperatura (°C), pH, condutividade elétrica (CE), salinidade (PSU), oxigênio dissolvido (OD), Potencial de Oxidação- Redução (ORP), turbidez (FNU) e sólidos totais dissolvidos (TDS), durante o período de cultivo;
- Avaliar a eficiência de uma solução nutritiva completa administrada com a adição da solução de algas arribadas aplicadas no cultivo de lentilha d'água;
- Aplicar planejamento fatorial para avaliar o efeito da concentração de bioestimulante, sobre a taxa de crescimento relativo e tempo de duplicação calculados a partir da massa de lentilha produzida e da quantidade de novos frondes.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 LENTILHA D'ÁGUA

Com base nos estudos de Silva (2018), a família *Araceae* é composta por plantas aquáticas flutuantes, conhecidas como lentilhas d'água. Essas plantas possuem um papel importante na ecologia aquática, servindo como fonte de alimento e abrigo para diversos organismos.

Possuem características naturais relevantes de interesse para a biologia e biotecnologia vegetal, tais como: crescimento rápido e clonal, alta adaptabilidade, alto teor natural de proteína, elevado teor de amido, com pouca lignina, capacidade natural de se adaptar e se multiplicar em águas residuais e agir removendo significativamente os contaminantes presentes (MERCOVICH, 2016). Além disso, as lentilhas d'água podem ser utilizadas na produção de bioplásticos, antioxidantes e Anti-inflamatórios entre outros produtos químicos e farmacêuticos (GARCIA *et al.*, 2021).

A lentilha-d'água é uma planta aquática que pode ser consumida fresca ou seca, e é rica em proteínas, vitaminas, minerais e outros nutrientes importantes. Ela é frequentemente usada em sopas, saladas, ensopados e outros pratos, e também pode ser moída em farinha para ser usada na fabricação de pão, massas e outros alimentos (PEREIRA, 2021).

Além de seu valor nutricional, a lentilha-d'água é considerada uma opção de alimento sustentável, uma vez que pode ser cultivada em grande escala em sistemas seguros, como aquaponia e hidroponia, utilizando pouco desperdício de água e nutrientes, tornando-a uma escolha ecologicamente correta (GOMES, 2020).

Wolffia arrhiza e *Wolffia globosa* são as espécies mais comumente consumidas (APPENROTH *et al.*, 2017, MERCOVICH, 2016). Mesmo que a lentilha d'água possua um grande potencial como fonte alternativa de proteína vegetal na nutrição humana (APPENROTH *et al.*, 2017), ela ainda não faz parte da alimentação da população em países ocidentais.

Portanto, a lentilha-d'água apresenta um grande potencial em diversas áreas, e pesquisas continuam sendo realizadas para explorar seu uso em novas aplicações (GARCIA *et al.*, 2021).

3.2 *Wolffia brasiliensis*

Wolffia brasiliensis é uma pequena planta aquática flutuante nativa da América do Sul. É um membro da família das lentilhas de água e é uma das menores plantas com flores do mundo, no Brasil ocorre no Sudeste, Nordeste, Centro-Oeste e Sul, Landolt (1986) e Lourenço (2019).

Considerar uma visualização mais detalhada das suas estruturas se faz necessário. Uma vez que, já na coleta das amostras era perceptível a presença de mais de uma espécie de lentilhas d'água.

A *Wolffia brasiliensis* está classificada dentro do domínio *Eukaryota*, conforme mencionado por Woese e Fox (1977). Essa classificação engloba todos os organismos com células eucarióticas.

No reino *Plantae*, como citado por Cavalier-Smith (1998), se enquadra a divisão *Tracheophyta*, esta é a divisão das plantas vasculares, que inclui todas as plantas que possuem tecidos especializados para conduzir água e nutrientes por todo o corpo da planta. Isso inclui samambaias, gimnospermas e angiospermas. A *Wolffia brasiliensis* é uma angiosperma.

Na classe *Magnoliopsida*, de acordo com Judd *et al.* (2002), a classe *Magnoliopsida* é a classe mais diversa de plantas com flores, e inclui uma grande variedade de formas vegetais, é onde a *Wolffia brasiliensis* está classificada.

Na ordem *Alismatales*, mencionada por French *et al.* (1995), que abrange plantas aquáticas e palustres, ela está classificada na família *Araceae*.

A subfamília *Lemnoideae*, como identificado por Judd (1995), é composta por três gêneros, *Lemna*, *Spirodela* e *Wolffia*, todas aquáticas flutuantes. As folhas de *Lemna* e *Spirodela* são peltadas (apresentam pecíolo preso no meio da lâmina foliar), enquanto as folhas de *Wolffia* são minúsculas e sésseis (não possuem pecíolo). As flores de *Lemna* e *Spirodela* são pequenas ediscretas, enquanto as flores de *Wolffia* são ainda menores e ficam dentro das bainhas das folhas indica que a *Wolffia brasiliensis* pertence ao grupo das plantas aquáticas flutuantes conhecidas como *lemnoídeas*. A subfamília *Lemnoideae* está distribuída em todo o mundo, mas é mais comum em regiões tropicais e subtropicais.

No nível do gênero, conforme mencionado por Judd (1995) e APPENZELLER (2004), ela é classificada como *Wolffia*. Esse gênero inclui várias espécies de plantas aquáticas flutuantes, como a *Wolffia brasiliensis*.

Em resumo, a *Wolffia brasiliensis*, de acordo com diferentes autores citados neste trabalho e suas respectivas referências bibliográficas, é uma planta aquática flutuante pertencente à família *Araceae*, subfamília *Lemnoideae*, gênero *Wolffia* e espécie *Wolffia brasiliensis*.

As descobertas dos autores Chandran *et al.* (2016) e Nascimento *et al.* (2017), sugerem que é importante monitorar o pH da água em um sistema de cultivo de lentilha e fazer os ajustes

necessários.

De acordo com Santos e Silva (2019), a *Wolffia brasiliensis* é uma espécie de planta aquática flutuante, encontrada em corpos d'água doce, como lagos, lagoas, rios e açudes. Ela é nativa do Brasil, mas também pode ser encontrada em outros países da América do Sul, Centrale do Norte. A planta é considerada pequena, e é conhecida por sua capacidade de reprodução rápida e eficiente.

No entanto, de acordo com Zanardi-Lamardo *et al.* (2018), a *Wolffia brasiliensis* é considerada uma espécie invasora em alguns ecossistemas, pois pode se multiplicar rapidamente e prejudicar a biodiversidade local. Além disso, segundo Lopes *et al.* (2020), a *Wolffia brasiliensis* é frequentemente utilizada em estudos científicos por ser uma planta que contém alto teor de proteínas, sendo uma opção viável para a alimentação humana e animal.

Landolt (1986) descreveu a *Wolffia brasiliensis* como uma espécie com corpo plano, oval a circular, com cerca de 1 a 1,5 mm de comprimento e 0,7 a 1,2 mm de largura, é uma planta aquática que flutua na superfície da água e não apresenta raízes verdadeiras, caules ou folhas distintas. A cor da planta é verde a verde-amarelada e ela apresenta de 1 a 3 flores masculinas e 1 flor feminina. O autor ressalta ainda que a *Wolffia brasiliensis* é uma espécie capaz de se reproduzir rapidamente através de brotamento vegetativo.

O brotamento vegetativo é um processo de reprodução assexuada em plantas, no qual novos indivíduos são gerados a partir de estruturas vegetativas, como ramos, raízes ou folhas, conforme descrito por Prasad *et al.* (2021). Durante esse processo, novos brotos se formam a partir de tecidos já existentes, sem a necessidade de sementes ou gametas, como afirmado por Pandey *et al.* (2020)

Em relação à sua taxonomia, Landolt (1986) menciona que a *Wolffia brasiliensis* é uma espécie do gênero *Wolffia*, que pertence à família *Lemnaceae*. Ainda de acordo com Landolt (1986), existem poucos estudos taxonômicos sobre as espécies do gênero *Wolffia*, o que pode tornar a identificação e a caracterização dessas plantas desafiadoras.

Por fim, em seu trabalho Landolt (1986) destaca que a *Wolffia brasiliensis* é comumente encontrada em águas calmas, como lagos e lagoas, e pode ser uma importante fonte de alimento para animais aquáticos. Além disso, a espécie apresenta características que podem ser exploradas em diversas aplicações, como a remoção de nutrientes de águas contaminadas, como mencionado por Kivaisi, Mwakalinga e Rubindamayugi (2019) em seu estudo sobre o uso da *Wolffia brasiliensis* no tratamento de efluentes. O trabalho evidencia que a *Wolffia brasiliensis* tem uma alta capacidade de remoção de nutrientes de águas residuais. Segundo os autores, essa

espécie pode ser utilizada em sistemas de tratamento de águas residuais para remover nitrogênio e fósforo, contribuindo para a redução da poluição hídrica.

Na revisão realizada por Aziz, El-Mubarak e Omar (2021), foi destacado que a *Wolffia brasiliensis* possui potencial para ser utilizada como alimento humano e animal, devido ao seu alto teor de proteínas e aminoácidos essenciais. Além disso, os autores ressaltam que essa planta também apresenta potencial para ser utilizada na produção de biocombustíveis e como fonte de compostos bioativos.

Em um estudo realizado por Souza (2015), a *Wolffia brasiliensis* apresentou um teor de proteína de 28,5% em base seca. Já de acordo com estudo conduzido por Silva (2017), o teor de proteína na mesma planta foi de 25,9% em base seca. Esses resultados sugerem que a *Wolffia brasiliensis* pode ser uma fonte rica em proteína e outros nutrientes. No entanto, mais pesquisas são necessárias para avaliar a viabilidade econômica e as possíveis aplicações dessa planta em larga escala.

3.3 CULTIVO DE LENTILHA-D'ÁGUA

Clifton-Brown *et al.* (2017) destaca o potencial do cultivo de lentilha em sistemas floating de hidroponia para a produção de biomassa com diversos fins industriais. Para a implementação dessa técnica, Zou *et al.* (2019) recomenda a seleção cuidadosa das plantas e a lavagem com água limpa antes do plantio. Além disso, Nascimento *et al.* (2017) enfatiza a importância de manter o pH da água dentro do ideal para o cultivo das plantas. Ma *et al.* (2017) recomendam o uso adequado de fertilizantes e monitoramento constante da qualidade da água, enquanto Chen *et al.* (2018) ressalta a importância da remoção de detritos e resíduos do sistema. Finalmente, é necessário monitorar a qualidade da água de forma regular e tomar medidas corretivas imediatas em caso de desequilíbrios, conforme destacado por Zou *et al.* (2019).

Ainda segundo Clifton-Brown *et al.* (2017), o cultivo de lentilha d'água em sistemas floating de hidroponia é uma técnica com grande potencial para a produção de biomassa para fins alimentícios, de ração animal, biocombustíveis e outros usos industriais. De acordo com Zou *et al.* (2019), é importante selecionar cuidadosamente as plantas de lentilha d'água e lavá-las com água limpa antes de colocá-las na superfície da água do sistema.

De acordo com um estudo de Chandran *et al.* (2016), o pH ideal para o cultivo de lentilha está entre 5,0 e 7,0. A lentilha-d'água pode tolerar uma ampla faixa de pH (3,0 a 10,0), mas o crescimento é significativamente reduzido em valores de pH fora dessa faixa.

Nascimento *et al.* (2017) sugere que para garantir um pH ideal para o cultivo de lentilha d'água os valores devem variar entre 6,5 e 7,5. É aconselhado que seja feito o ajuste adequado na água. A nutrição e manutenção do sistema é crucial para o sucesso do cultivo de lentilha d'água. Os autores supracitados sugerem que o pH ideal provavelmente varia dependendo da espécie de lentilha cultivada, bem como de outras condições ambientais.

Segundo Ma *et al.* (2017), é recomendado o uso de fertilizantes adequados para o cultivo dessas plantas, além de monitorar regularmente a qualidade da água, incluindo pH, condutividade e temperatura, e ajustar conforme necessário.

A remoção de detritos e resíduos das plantas e do sistema é necessária para garantir que as plantas recebam água limpa e livre de detritos, conforme sugerido por Chen *et al.* (2018). Por fim, é importante lembrar que o cultivo de lentilha d'água é muito sensível a mudanças na qualidade da água, portanto, é essencial monitorar a qualidade da água regularmente e tomar medidas corretivas o mais rápido possível em caso de desequilíbrios.

3.4 HIDROPONIA

A hidroponia é um método de cultivo de plantas em que as raízes são imersas em uma solução nutritiva, sem a utilização de solo, permitindo um fornecimento preciso de nutrientes e água para as plantas, explica Singh *et al.* (2021). Os sistemas hidropônicos são usados para cultivar plantas em ambientes controlados, como estufas, com o objetivo de aumentar a produtividade, reduzir o tempo de cultivo e minimizar o uso de recursos. Este método de cultivo é altamente eficiente em termos de uso de água e nutrientes, e permite o controle preciso das condições de crescimento, como pH, nutrientes e temperatura (Savvas e Passam, 2018).

A hidroponia é usada para o cultivo de diversas culturas, como alface, tomate, morango, ervas, entre outras, e tem sido uma alternativa importante para o cultivo em áreas urbanas e em regiões com solos pobres ou condições climáticas adversas (Resh, 2022).

Lentilha d'água (*Lemna spp.*) é uma planta aquática com potencial para cultivo em hidroponia devido ao seu rápido crescimento e alto teor de proteína. Existem estudos que avaliaram a produção de lentilha-d'água em sistemas de hidroponia, como o estudo realizado por Saha, Yeasmin e Islam (2019) que buscou avaliar a produção hidropônica de lentilha d'água (*Lemna minor L.*) como uma alternativa para a produção de proteína utilizada em rações para peixes. A pesquisa foi realizada durante 15 dias utilizando-se um sistema hidropônico com solução nutritiva, notou-se que a lentilha d'água apresentou um crescimento significativo,

chegando a produzir até 2,25g de biomassa seca por planta. Além disso, foi constatado que a planta apresentou um teor proteico médio de 42,05% e pode ser considerada uma fonte alternativa viável de proteína para a produção de rações para peixes. Os resultados indicam a possibilidade de se utilizar a hidroponia para a produção de lentilha d'água com fins alimentício e demonstram a importância da busca por fontes alternativas de proteína na produção de rações para animais.

Outro estudo de Vagner e Lovecka (2016) teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes condições de cultivo no crescimento e na composição nutricional da lentilha d'água (*Lemna minor*). Foram testados diferentes níveis de luz, temperatura e concentração de nutrientes na solução nutritiva utilizada. Os resultados indicaram que a lentilha d'água teve um melhor crescimento e maior teor de proteína quando cultivada em alta luminosidade e alta concentração de nitrogênio na solução nutritiva. Além disso, os autores sugerem que a lentilha d'água pode ser uma alternativa promissora para produção de alimento para animais, dada a sua alta taxa de crescimento e teor nutricional.

3.5 SOLUÇÃO NUTRITIVA

No cultivo hidropônico, as plantas são cultivadas sem solo em soluções nutritivas que fornecem todos os nutrientes necessários para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Segundo Liang *et al.* (2020), essas soluções nutritivas geralmente consistem em água purificada, macronutrientes (como nitrogênio, fósforo e potássio) e micronutrientes (como ferro, zinco e manganês). Além disso, as soluções também podem conter suplementos nutricionais, como vitaminas e aminoácidos (PRADO *et al.*, 2019).

Existem diferentes tipos de soluções nutritivas usadas no cultivo hidropônico, dependendo das necessidades específicas das plantas e do sistema de cultivo. As soluções nutritivas podem ser preparadas comercialmente ou podem ser feitas em casa com ingredientes específicos. De acordo com Savvas e Gruda (2018), é importante monitorar regularmente a qualidade da solução nutritiva, medindo a concentração de nutrientes e o pH da solução, para garantir que as plantas recebam a quantidade correta de nutrientes. Também é necessário substituir regularmente a solução nutritiva para evitar a acumulação de sais e resíduos que podem afetar negativamente o crescimento das plantas (LIU *et al.*, 2019).

As soluções nutritivas à base de algas são comumente utilizadas na hidroponia. Segundo Gupta e Abu-Ghannam (2011), as algas são uma fonte rica em nutrientes essenciais para o crescimento das plantas, incluindo nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, além de micronutrientes como ferro, zinco e manganês.

A utilização de soluções nutritivas à base de algas pode trazer benefícios, tais como o aumento da produção de plantas, melhoria da qualidade dos frutos e vegetais, além do fortalecimento das plantas, tornando-as mais resistentes a doenças e condições adversas (KHAN *et al.*, 2019).

No entanto, é preciso ter cautela, pois o excesso de nutrientes pode prejudicar o desenvolvimento das plantas e levar ao acúmulo de sais no meio de cultivo. Portanto, é importante seguir as instruções de uso e utilizar algas de alta qualidade e livre de contaminação (GUPTA, ABU-GHANNAM, 2011).

3.6 BIOESTIMULANTES

Os bioestimulantes são compostos orgânicos que, de acordo com Ghnaya *et al.* (2016), podem ser aplicados às plantas e ao solo para melhorar a saúde e o crescimento das plantas, além de aumentar a resistência a estresses abióticos e bióticos. Segundo Canellas *et al.* (2015), eles não são fertilizantes, mas sim substâncias que melhoram a qualidade do solo e ajudam as plantas a absorverem nutrientes.

Os bioestimulantes podem ser produzidos a partir de diversas fontes, como apontam Bulgari *et al.* (2015) e Calvo *et al.* (2014), tais como algas marinhas, bactérias, fungos e extratos vegetais. Esses compostos são utilizados em diversas culturas agrícolas, como frutas, verduras, cereais e plantas ornamentais, conforme evidenciam Tuna *et al.* (2008) e du Jardin (2015), e podem ser aplicados de diversas formas, como pulverização foliar, aplicação no solo ou tratamento de sementes.

Algumas pesquisas, como Ertani *et al.* (2019) e Rouphael *et al.* (2018), afirmam que os benefícios dos bioestimulantes incluem o aumento da produtividade e qualidade das culturas, a redução do uso de fertilizantes químicos e pesticidas, a melhoria da saúde do solo e a redução do impacto ambiental da agricultura.

3.7 ALGAS ARRIBADAS

As algas arribadas são "grandes acumulações de algas que chegam às praias e margens dos rios" (ROCHA *et al.*, 2021, p. 1), causadas pelo "aumento de nutrientes e matéria orgânica no ambiente" (SANTOS *et al.*, 2020, p. 1), bem como por "condições climáticas favoráveis, como altas temperaturas e ventos fortes" (SALES *et al.*, 2020, p. 2). Esse fenômeno é caracterizado pela formação de grandes tapetes de algas nas margens dos corpos d'água, podendo gerar impactos negativos no meio ambiente e na economia local.

Durante a decomposição das algas arribadas, são liberados gases tóxicos como o sulfeto de hidrogênio (SALES *et al.*, 2020, p. 2), que geram mau cheiro e reduzem a qualidade do ar. Além disso, essas algas podem atrair insetos, como moscas e mosquitos, que podem se proliferar e causar problemas de saúde pública (SANTOS *et al.*, 2020, p. 1), e afetar a fauna marinha, "como a diminuição do oxigênio dissolvido na água, o que pode levar à morte de peixes e outros organismos aquáticos" (ROCHA *et al.*, 2021, p. 2).

Os esforços para lidar com as algas arribadas incluem a "remoção manual das algas acumuladas nas margens dos corpos d'água" (SALES *et al.*, 2020, p. 2), o "uso de métodos biológicos para a decomposição das algas, como a utilização de bactérias aeróbias" (ROCHA *et al.*, 2021, p. 3) e o "monitoramento das condições ambientais para prevenir o surgimento de novas arribadas" (SANTOS *et al.*, 2020, p. 1).

Vale destacar que as algas arribadas não são uma espécie em si, mas um fenômeno que ocorre em diversas espécies de algas. Ainda são necessárias pesquisas para compreender completamente as causas e consequências desse problema, bem como as melhores estratégias para lidar com ele (SALES *et al.*, 2020, p. 3).

O fenômeno natural das arribadas de macroalgas pode ser uma fonte rica de nutrientes para soluções nutritivas utilizadas na hidroponia. Segundo estudos recentes, as macroalgas contêm uma grande variedade de nutrientes, incluindo nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes como ferro e zinco, que são essenciais para o crescimento das plantas (KHALID *et al.*, 2020).

O uso de soluções nutritivas à base de algas arribadas pode ser uma alternativa sustentável para a agricultura hidropônica, reduzindo a dependência de fertilizantes químicos sintéticos. No entanto, é importante garantir que as algas utilizadas sejam livres de contaminação e sigam as regulamentações ambientais locais para o uso desses recursos naturais (SIKDER *et al.*, 2020).

Os autores Colla *et al.* (2014), Rouphael *et al.* (2017), Yakhin *et al.* (2017) e Khan *et al.* (2019) têm defendido o uso de bioestimulantes em sistemas hidropônicos como uma forma de melhorar o crescimento e a produtividade das plantas. Segundo esses autores, esses produtos são compostos por extratos vegetais, aminoácidos, proteínas, carboidratos, vitaminas, hormônios e outras substâncias orgânicas que auxiliam no desenvolvimento das plantas. Essas substâncias complementam e potencializam a nutrição das plantas, além de melhorar a tolerância a condições adversas, como estresses abióticos e bióticos.

No estudo de Silva *et al.* (2016) foi comprovado o aumento significativo da taxa de crescimento e produtividade da alface e tomate com a adição de algas na solução nutritiva.

Já Oliveira *et al.* (2019) demonstrou que a adição de farinha de algas na solução nutritiva em hidroponia melhorou a qualidade nutricional e sensorial dos frutos de pimentão. Os pimentões produzidos apresentaram maior teor de vitamina C, carotenóides e compostos fenólicos, além de melhor sabor e aroma.

Outro estudo feito por Shi *et al.* (2020) mostrou que a adição de extrato de algas em hidroponia melhorou a absorção de nutrientes pelas plantas de alface e aumentou significativamente a produção de biomassa.

4 METODOLOGIA

4.1 IDENTIFICAÇÃO DA ESPÉCIE

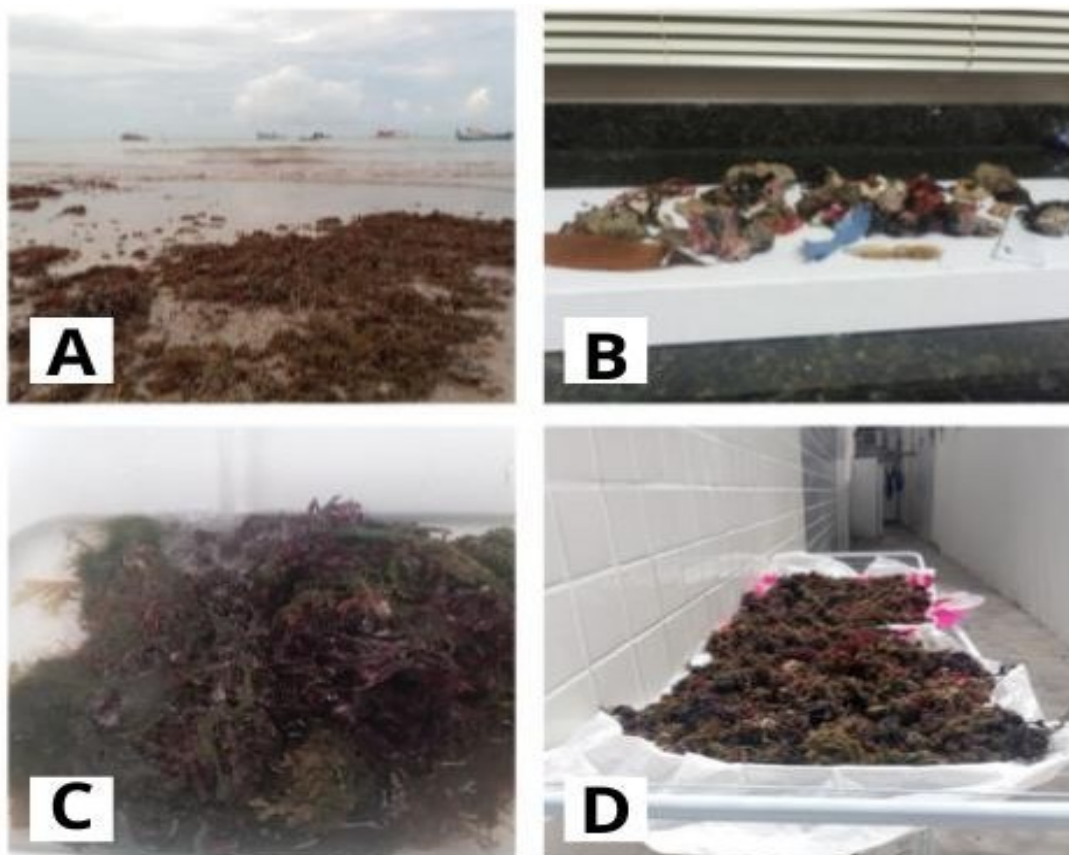
A identificação se baseou na comparação da visualização microscópica das amostras coletadas, com a descrição microscópica de marcadores morfológicos para as 36 espécies de lentilhas-d'água atualmente aceitas, considerando revisões taxonômicas publicadas por Elias Landolt (1986), na taxonomia atualizada do NCBI (National Center for Biotechnology Information) e o banco de dados Funga e Flora do Brasil, projeto coordenado pelo Jardim Botânico do Rio de Janeiro, que fornece dados como caracterização morfológica e a ocorrência geográfica da espécie.

A metodologia utilizada para visualizar a espécie consistiu no emprego de um microscópio estereoscópico OPTECH - BEL Photonics. Primeiramente, plantas saudáveis foram coletadas e submetidas a uma lavagem em água destilada. Em seguida, algumas dessas plantas foram transferidas para uma lâmina de microscópio contendo uma gota de água destilada e cobertas com uma lamínula. A lâmina preparada foi inserida no microscópio estereoscópico, no qual foram realizados ajustes de iluminação, zoom e focalização a fim de obter uma visualização clara. Durante esse processo, foram observadas e registradas as estruturas visualizadas nas plantas e suas características.

4.2 OBTENÇÃO DO BIOESTIMULANTE E DA SOLUÇÃO NUTRITIVA

O bioestimulante foi obtido a partir de algas “arribadas” (mistura de diversos gêneros de algas, predominando o gênero *Sargassum Sp*), coletadas na faixa de areia da praia de Cabo Branco em João Pessoa – PB, Figura 1(A). Após a coleta, foi realizada a retirada de materiais presentes, como o plástico, pedras ou outros resíduos sólidos indesejáveis, Figura 1(B). Após essa seleção, as algas foram lavadas com água em abundância, Figura 1(C) e seguiram para uma secagem ao sol por 32 horas, Figura 1(D). Em seguida, o material foi recolhido para sua proteção no período da noite, e posteriormente colocado para continuar a secagem na manhã seguinte.

Figura 1 - (A) Algas Arribadas na faixa de areia da praia de Cabo de Branco, (B) Material descartado, (C) Lavagem do material (D) processo de secagem das Algas.

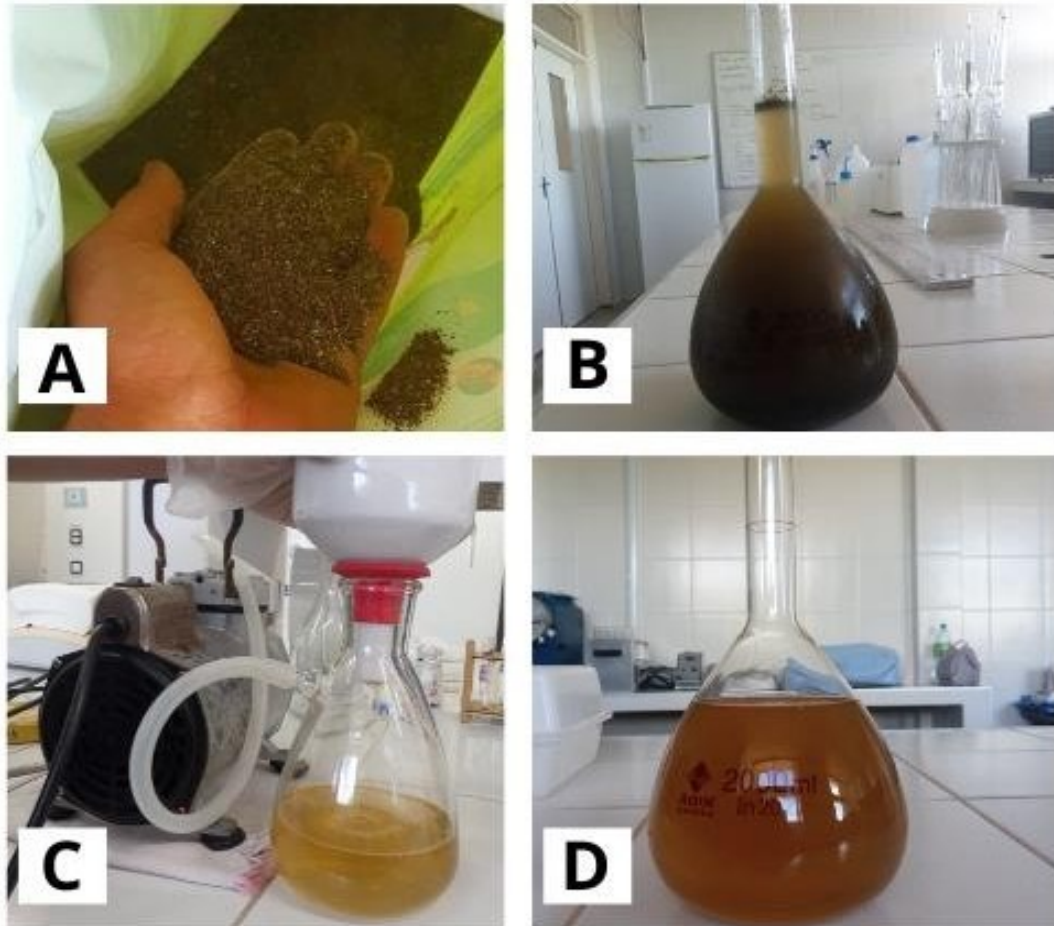


Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Em seguida o material foi triturado em liquidificador industrial e passado por uma peneira afim de descartar algum material indesejável ainda presente, em seguida o material foi triturado por um moinho de facas, sendo obtida a farinha de algas arribadas, Figura 2(A). Na sequência foi realizada a adaptação das metodologias de Smith (2017) e Jones (2018), para a obtenção de uma solução estoque, Figura 2(B), dissolvendo-se 10 g de farinha de algas marinhas com 1L de água destilada. A solução estoque foi então diluída para uma concentração de 1:10, sendo submetida a um processo de filtração a vácuo, Figura 2(C) com a utilização de bomba, sendo o processo repetido duas vezes com Papel Filtro Quantitativo JP41 - faixa preta, 11 cm da marca

J. Prolab, até a obtenção da solução de bioestimulante, Figura 2 (D).

Figura 2 - A) Farinha produzida a partir das algas arribadas coletadas, (B) Solução estoque, (C) O processo de filtração da solução, (D) Solução de bioestimulante.



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

A obtenção da solução nutritiva foi feita através da adaptação do método descrito por Ferreira *et al.* (2019), utilizando a farinha de alga como um aditivo para a solução nutritiva completa para hidroponia. O kit de nutrientes completo para hidroponia (Figura 3) usado foi o para cultivo de folhosas (Flex Vermelho + Flex Azul) da marca PlantPar com composições descritas pelo fabricante (Tabela 1 e Tabela 2), esses nutrientes foram dissolvidos em água da rede de abastecimento local.

Tabela 1 - Flex vermelho, composição: Micros quelatizados EDTA, além de nitrato de potássio, MKP, MAPCristal, entre outros.

Garantias (%)	
N sol em água	8
Mg sol. em água	0,009
Ni sol. em água	0,006
Fe sol. em água	0,14
Co sol. em água	0,002
B sol .em água	0,04
P ₂ O ₃ sol. em água	8
Mn sol. em água	0,04
Mo sol. em água	0,009
S sol. em água	3
Zn sol. em água	0,019
K ₂ O sol. em água	30
Cu sol. em água	0,03

Fonte: PlantPar, 2022.

Tabela 2 - Flex Azul. composição: Nitrato De Cálcio, nitrato de magnésio e agente corante.

Garantias (%)	
N total	10
Ca total	15
Mg sol. em água	2

Fonte: PlantPar, 2022.

A dosagem para compor a solução inicial (1,0 mS/cm) foi:

- Flex Azul: Para cada 10 litros de água, utiliza-se 4,29 gramas do produto em pó.
- Flex Vermelho: Para cada 10 litros de água, utiliza-se 4,29 gramas do produto em pó.

Figura 3 - Kit de nutrientes completo para hidroponia (Flex Vermelho + Flex Azul).



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

4.3 OBTENÇÃO E CULTIVO

A espécie *Wolffia brasiliensis* (Figura 4) foi coletada em uma barragem com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 7°53'04.2"S e longitude de 37°04'02.6"W, cultivadas em casa de vegetação em bandejas de poliestireno de 3 L: 30,3 cm x 22,1 cm x 7,5 cm (Figura 5).

Inicialmente, as amostras de lentilhas d'água passaram por uma seleção, sendo descartados os espécimes de lentilhas que aparentemente estavam doentes. Seguindo os estudos de Smith (2017) e Jones (2018), com adaptações, os experimentos foram realizados durante 8 dias. Uma solução estoque de farinha de algas marinhas foi preparada misturando 10 g de farinha de algas marinhas com 1 L de água destilada. A solução estoque foi então diluída para uma concentração de 1:10, e em seguida para quatro diferentes concentrações de bioestimulante (0, 2%, 4% e 6%). As três concentrações de bioestimulante foram administradas juntamente com o kit completo de nutrientes para hidroponia, preparado seguindo as recomendações do fabricante. O volume de cada bandeja de 3 litros era composto por: 1 L da solução Flex Vermelho + 1 L da solução Flex Azul + 1 L solução bioestimulante, com exceção das bandejas 0 A, 0 B e 0 C, que eram compostas por: 1 L da solução Flex Vermelho + 1 L da solução Flex Azul + 1 L de água da rede de abastecimento. O volume presente nas bandejas, foi repostado todos os dias, utilizando água da rede de abastecimento local.

O pH foi mantido entre 5,5 e 6,5 utilizando ácido sulfúrico (H₂SO₄) e hidróxido de potássio (KOH). O ajuste do pH das bandejas para 5,5 foi realizado simultaneamente quando houve a ocorrência de pH igual ou maior que 6 em uma das bandejas.

O experimento foi realizado em triplicata, totalizando 12 parcelas experimentais contendo 150 espécimes de lentilha d'água cada. Cultivadas em casa de vegetação, as bandejas

receberam por dia 6 horas de exposição solar, Figura 5, e foram cobertas com lona em períodos noturnos e chuvosos, Figura 6. No dia 7 o meio de cultivo foi trocado e as plantas foram colocadas em bandejas com a mesma concentração de bioestimulante e solução nutritiva inicial.

Figura 4 - Frondes de *Wolffia brasiliensis* no momento da coleta.



Fonte: Acervo da pesquisa.

Figura 5 - Bandejas de poliestireno utilizadas durante o experimento.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 6 - (A) A casa de vegetação utilizada durante o experimento e (B) Lona para proteção das bandejas.



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

4.4 TAXA DE CRESCIMENTO

Para determinar a taxa de crescimento, foram medidas contando separadamente o número de frondes e a massa úmida de planta entre o início e o fim do período experimental. As massas foram aferidas em balança analítica, retirando o excesso de água, colocando e rolando as plantas cuidadosamente entre papel toalha. As frondes da lentilha foram contadas a cada 4 dias para experimentos de cinética de crescimento. Conhecendo as massas inicial e final, e o número de frondes, a taxa de crescimento relativa das plantas (TCR) foi calculada usando a Equação (1) abaixo:

$$TCR = \ln \left(\frac{m_f}{m_i} \right) / t \quad (1)$$

Em que, m_i e m_f são, respectivamente, a massa úmida inicial e a massa úmida final (ou número de frondes) no início e no final do período experimental e t é o número de dias entre as pesagens ou contagens.

O tempo de duplicação da biomassa foi calculado usando a Equação (2):

$$TD = [\ln(2)] / TCR \quad (2)$$

4.5 ACOMPANHAMENTO CINÉTICO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA

Os parâmetros analisados durante o cultivo foram temperatura, pH, condutividade elétrica, salinidade, oxigênio dissolvido e sólidos totais dissolvidos, sendo quantificados durante 8 dias utilizando um medidor multiparâmetro portátil modelo HI9829 (Figura 7). Durante as medidas seus eletrodos foram devidamente lavados e após a calibração, foram imersos nas amostras de solução nutritiva. Os mesmos parâmetros também foram analisados na solução bioestimulante, antes do início do experimento.

Figura 7 - Medidor multiparâmetro portátil modelo HI9829.

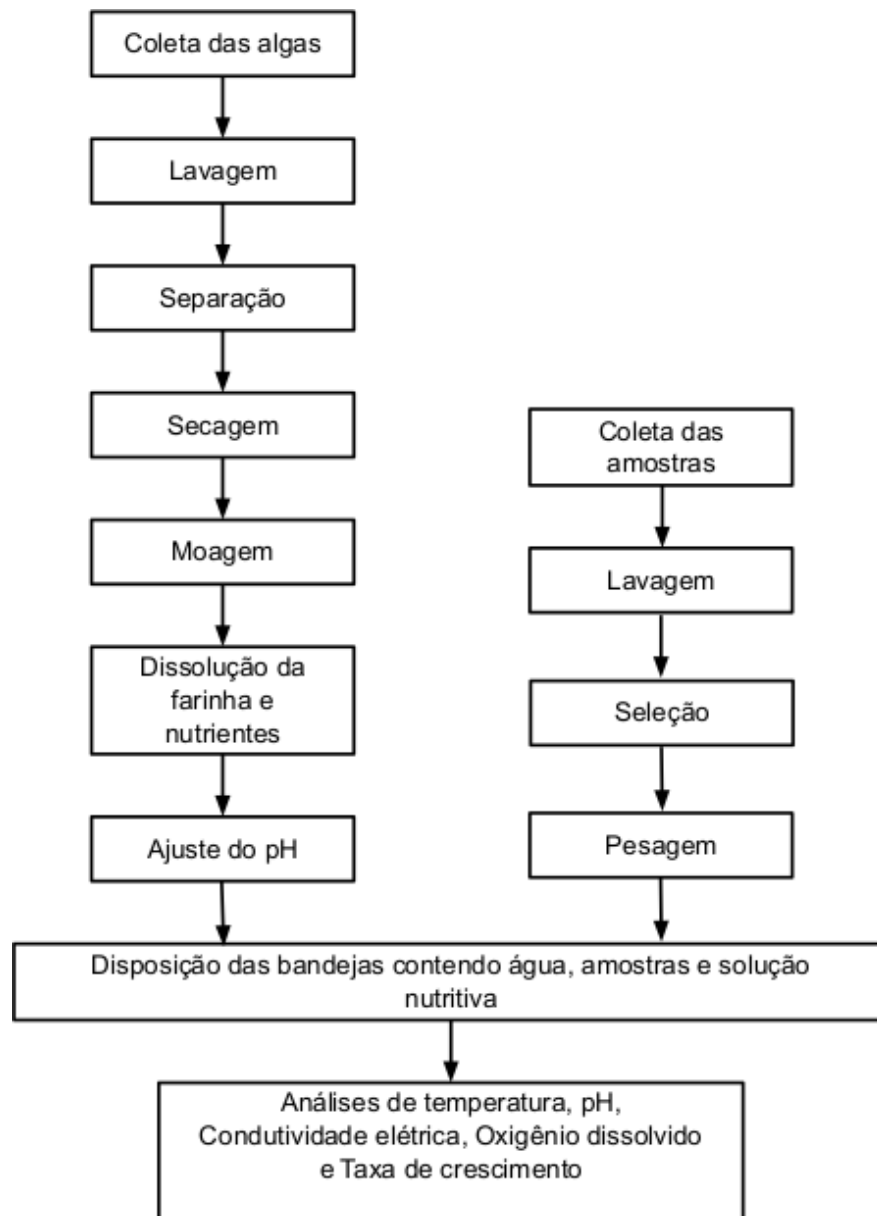


Fonte: Dados da pesquisa.

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi aplicado o planejamento fatorial, a análise do efeito dos fatores sobre as respostas em estudo, além da indicação de um modelo matemático que represente a relação entre as variáveis e a análise do ajuste do modelo por meio da análise de variância utilizando o software Excel®.

No fluxograma, presente na Figura 8, encontram-se as etapas realizadas durante o desenvolvimento do trabalho.

Figura 8 - Fluxograma experimental.

Fonte: Dados da pesquisa.

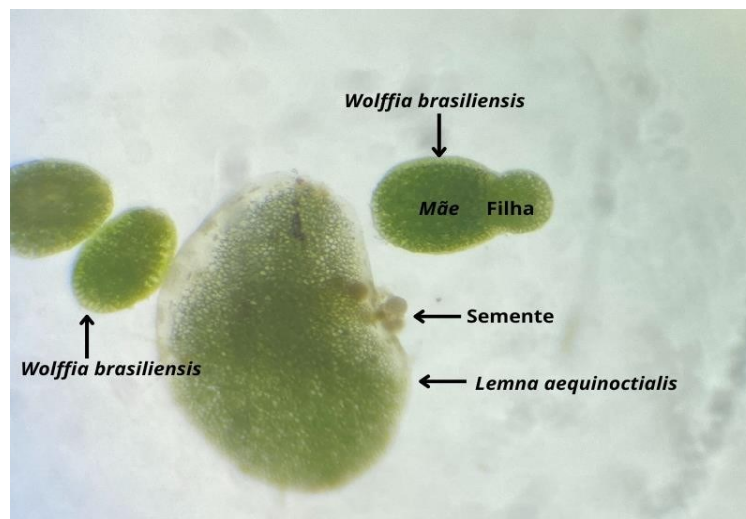
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 IDENTIFICAÇÃO E TAXONOMIA DA ESPÉCIE *Wolffia brasiliensis*

A análise microscópica tornou possível a visualização da estrutura morfológica da lentilha d'água, o que é extremamente necessário para a identificação das diferentes espécies existentes.

Ao realizar a análise microscópica foram identificadas duas espécies de lentilhas d'água, em maior quantidade a *Wolffia brasiliensis* e em menor número a *Lemna aequinoctialis* como é possível visualizar na Figura 9. Após a identificação, a espécie *Lemna aequinoctialis* foi descartada das amostras.

Figura 9 - Vista da *Wolffia brasiliensis* em brotamento e *Lemna aequinoctialis* apresentando plântula com semente aderida.



Fonte: Dados da pesquisa.

Lourenço (2019), explica que pode ocorrer simpatria com *Wolffia brasiliensis* e *Lemna aequinoctialis*. A Simpatria em plantas refere-se ao fenômeno em que diferentes espécies de plantas coexistem em uma mesma região geográfica, sem a presença de barreiras físicas que as separem.

Na figura 9, além da espécie *Lemna aequinoctialis*, é possível observar a *Wolffia brasiliensis*, planta aquática livre e flutuante na superfície da água e que não possui raízes. Caracterizada por suas frondes que podem ser simples ou unidos aos pares, apresentando coloração verde, papila única. Elas têm uma forma oval a suborbicular na face inferior e são achatadas na face superior.

De acordo com Lourenço (2019), uma característica distintiva dessa planta é a presença de uma papila proeminente na superfície adaxial (parte superior) da fronde, que não é visível em frondes férteis. Além disso, a planta também possui células pigmentares. Na Tabela 3, encontra-se a hierarquia taxonômica completa da *Wolffia brasiliensis*.

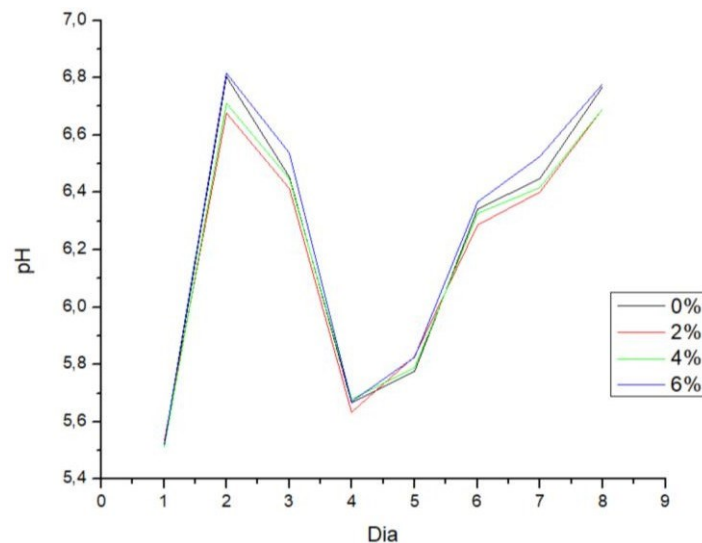
Tabela 3 - Hierarquia taxonômica completa da *Wolffia brasiliensis*. Segundo taxonomia do NCBI (2020): uma atualização abrangente sobre curadoria, recursos e ferramentas.

Hierarquia taxonômica	
Super reino	<i>Eucariota</i>
Reino	<i>Plantae</i>
Sub-reino	<i>Viridiplantae</i>
Infra reino	<i>Streptophyta</i>
Superdivisão	Embryophyta
Divisão	Tracheophyta
Subdivisão	<i>Spermatophytina</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Superordem	<i>Liliana</i>
Ordem	<i>Alismatales</i>
Família	<i>Araceae</i>
Subfamília	<i>Lemnoideae</i>
Gênero	<i>Wolffia</i> Horkel ex Schleid.
Espécie	<i>Wolffia brasiliensis</i> Wedd.

Fonte: NCBI, (2020).

Na Figura 10, são apresentados os dados de pH observados durante o experimento. Sendo que de acordo com a metodologia esse parâmetro devia ser mantido entre 5,5 e 6,5. De acordo com Choi, Saeed e Baek (2021), em níveis de pH mais baixos, o crescimento da lentilha é inibido devido à toxicidade da amônia livre, enquanto em níveis de pH mais altos, o crescimento é inibido devido à toxicidade dos íons de hidróxido livres.

Figura 10 - Perfil da variável pH no meio de cultivo durante 8 dias, em função da concentração do bioestimulante.



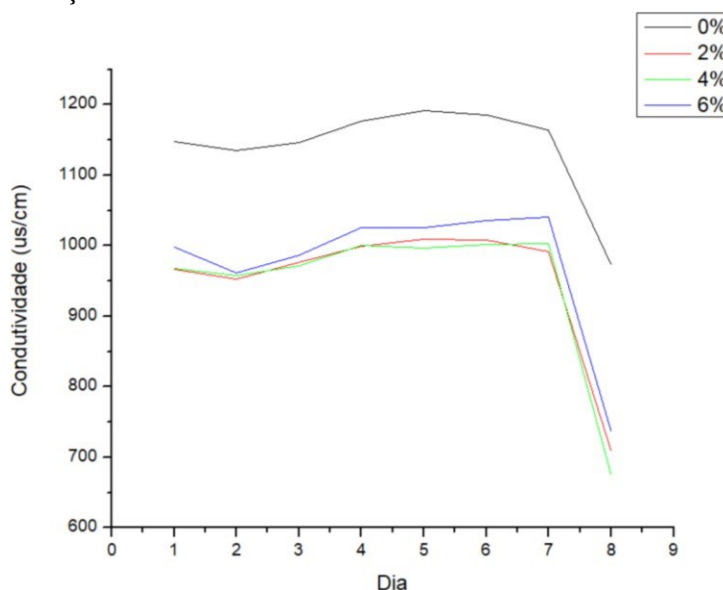
Fonte: Dados da pesquisa.

Observando a Figura 10, foi verificado um aumento até o 2º dia, seguido de redução até o 4º. Em seguida observou-se novamente o aumento do parâmetro até o final do processo, sendo alcançados valores próximos de 6,8, independente da concentração de bioestimulante. Nos dias 4, 5 e 6 não foi necessário o ajuste do pH no sistema de cultivo, já que o pH permaneceu dentro dos valores pré-estabelecidos. A solução nutritiva foi trocada no 7º dia, resultando no aumento do pH que se seguiu até o 8º dia.

A diminuição do pH, Entre o segundo e o quarto dia de análise, pode ser atribuída à produção de oxigênio pela lentilha, bem como à absorção de nutrientes da água pela lentilha, como estudado por Gupta e Kumar (2018). É importante observar que o pH da água também dependerá de outros fatores, como a temperatura e a presença de outras substâncias.

Na Figura 11, foram plotados os dados de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) para cada dia de cultivo e diferentes concentrações de bioestimulante aplicadas.

Figura 11 - Perfil da variável condutividade elétrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$) no meio de cultivo durante 8 dias, em função da concentração do bioestimulante.



Fonte: Dados da pesquisa.

É possível observar um pequeno aumento da condutividade elétrica do 1º ao dia 7º. Com a troca da solução nutritiva no 7º dia, houve a redução deste parâmetro.

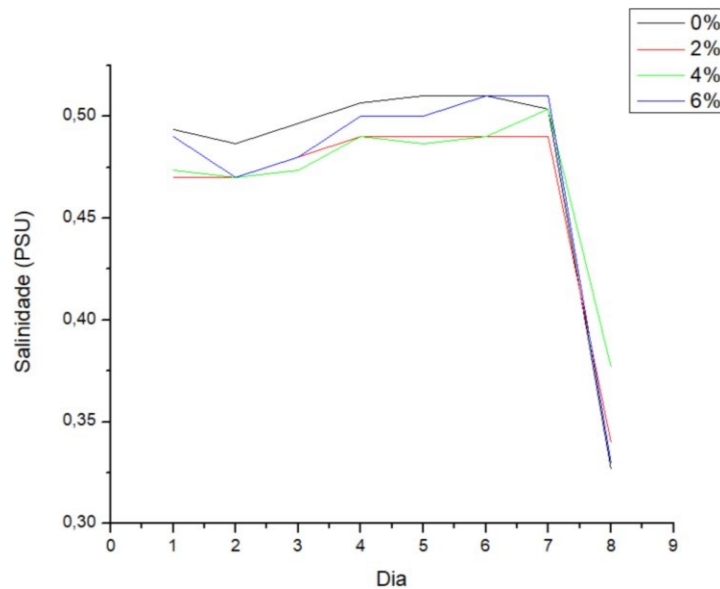
Quanto à condutividade elétrica, foi observado que a solução sem bioestimulantes apresentou valores mais altos de condutividade elétrica em comparação com as outras concentrações, que apresentaram um comportamento e valores semelhantes. Esse comportamento pode ocorrer devido ao fato dos constituintes do bioestimulante interferirem na quantidade de sais presentes no meio ou na massa de lentilha produzida.

Conforme descrito por Gupta e Kumar (2018), a adição de lentilha d'água a um sistema estático de água resultou em um aumento significativo na condutividade elétrica. Os autores também atribuíram esse aumento da condutividade elétrica à absorção de nutrientes da água pela lentilha.

Zhu et al. (2016) constataram que a lentilha absorve cloretos da água e os utiliza para regular seu equilíbrio osmótico e relata que a planta absorve sulfatos da água e os utiliza para sintetizar aminoácidos e outros compostos importantes. Esses sais são liberados à medida que a lentilha cresce e morre. À medida que os sais se acumulam na água, eles podem alterar a condutividade elétrica.

Na Figura 12, é apresentado o perfil da salinidade no meio de cultivo, para as diferentes concentrações de bioestimulante aplicadas.

Figura 12 - Perfil da variável salinidade (PSU) no meio de cultivo durante 8 dias, em função da concentração do bioestimulante.



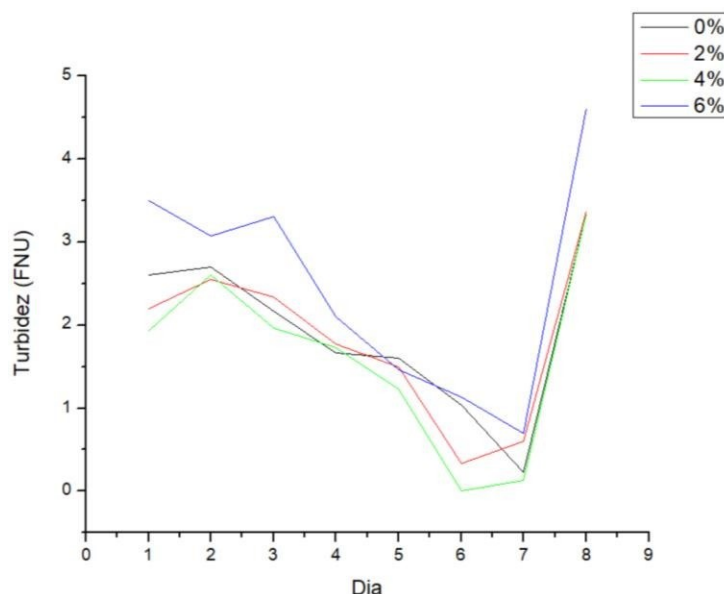
Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Analisando a Figura 12, foram verificadas pequenas alterações nos valores da salinidade, independente da concentração do bioestimulante. O sistema de cultivo apresentou uma queda brusca de salinidade no dia que ocorreu a troca da solução nutritiva, 7º dia de experimento. As amostras analisadas registraram um acréscimo médio de 0,2 PSU na medida de salinidade.

O aumento da massa de lentilha pode ter um efeito significativo na salinidade da água, mas a magnitude do efeito dependerá das condições específicas (KHAN E KHAN, 2020), A salinidade da água também dependerá de outros fatores, como a salinidade inicial, a temperatura e a presença de outras substâncias (ZHU *et al.*, 2016).

Na Figura 13, é apresentado o perfil da turbidez no meio de cultivo, para as diferentes concentrações de bioestimulante aplicadas.

Figura 13 - Perfil da variável turbidez (FNU) no meio de cultivo durante 8 dias, em função da concentração do bioestimulante.



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Analisando a Figura 13, foi verificado que a presença e o desenvolvimento da lentilha de água no sistema de cultivo resultaram em uma diminuição significativa na turbidez. Nota-se que os valores para todas as concentrações de bioestimulante se aproximam de 0, no sétimo dia de análise.

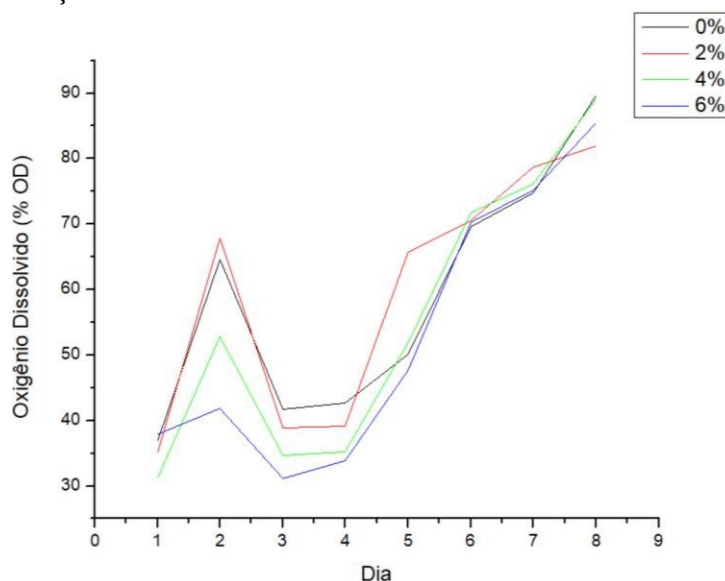
O mesmo comportamento foi observado no estudo dos autores Khan e Khan (2020), em que a adição de lentilha de água a um sistema estático de água de tilápia do Nilo resultou em uma diminuição significativa na turbidez. A diminuição da turbidez foi atribuída à capacidade da lentilha de água em absorver sólidos suspensos da água, de acordo com Gupta e Kumar (2018).

Foi possível observar também que a solução com 6% de bioestimulante, inicialmente apresentou maior turbidez, provavelmente por apresentar maior quantidade de sólidos, derivados das partículas de algas presentes em sua composição.

Observa-se ainda que ocorreu um aumento nos valores de turbidez no dia 8, com a troca da solução nutritiva nas bandejas. Esse resultado pode estar associado às características da água utilizada nesta etapa de troca da solução.

Na Figura 14, é apresentado como evoluiu a porcentagem de oxigênio dissolvido no meio de cultivo, durante o período de estudo, para as diferentes concentrações de bioestimulante aplicadas.

Figura 14 - Perfil da variável oxigênio dissolvido (% OD) no meio de cultivo durante 8 dias, em função da concentração do bioestimulante.



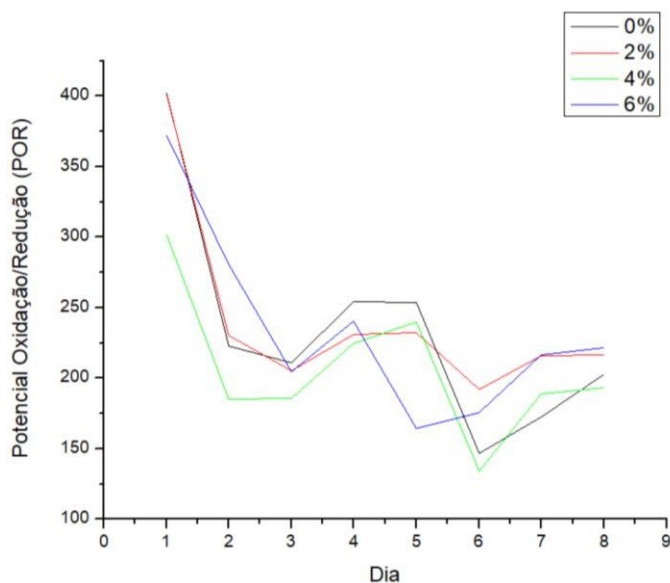
Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Na Figura 14, foi verificado que os níveis de oxigênio dissolvido apresentaram crescimento no início do cultivo, com redução no 3º dia e posterior elevação até o final do processo. A lentilha-d'água produz oxigênio por meio da fotossíntese, e uma pequena quantidade de planta pode realmente aumentar os níveis de oxigênio dissolvido no meio.

Há evidências que sugerem que o efeito geral da presença da lentilha nos níveis de oxigênio dissolvido dependerá de vários fatores, incluindo a quantidade de planta presente, a temperatura do meio e a quantidade de luz solar disponível (KHAN E KHAN, 2020). Uma cobertura densa de lentilha d'água é capaz de reduzir os níveis de oxigênio dissolvido diferentede uma pequena quantidade de lentilha d'água (ZHU *et al.*, 2016).

Na Figura 15, é apresentado o perfil do potencial de oxidação/redução no meio de cultivo, para as diferentes concentrações de bioestimulante aplicadas.

Figura 15 - Perfil da variável potencial de oxidação/redução (ORP) no meio de cultivo durante 8 dias, em função da concentração do bioestimulante.



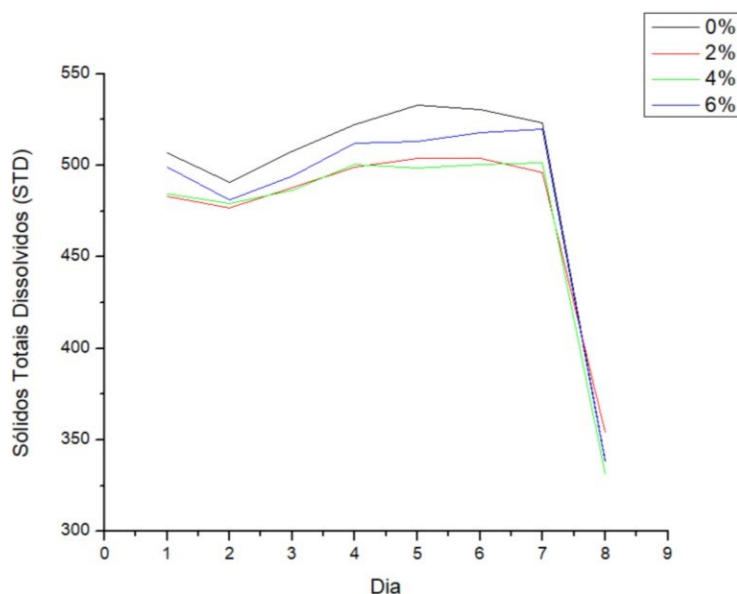
Fonte: Dados da pesquisa.

É possível notar, na Figura 15, um padrão de queda do POR para todas as concentrações, com posterior oscilação entre os valores de 125 e 250. Esse comportamento pode estar relacionado ao período de duplicação de massa e temperatura que a solução nutritiva atingiu naquele determinado dia.

Zhu *et al.* (2016) observaram em seu estudo que o potencial de oxidação/redução (ORP) da água aumentou com o aumento da quantidade de lentilha d'água presente. Isso ocorre porque a lentilha produz oxigênio por meio da fotossíntese, o que torna o ambiente mais oxidante. Não foi o que se observou nos resultados apresentados na Figura 15. Contudo, com base em seus resultados, os autores Sivakumar (2013) e Zhu *et al.* (2016) concluíram que o ORP da água pode ser usado como um indicador da saúde das culturas de lentilha-d'água. Um ORP mais alto indica uma cultura mais saudável, enquanto um ORP mais baixo indica uma cultura menos saudável, provavelmente devido as condições do meio de cultivo e exposição a luz solar.

Na Figura 16, é apresentado o perfil da quantidade de sólidos totais dissolvidos no meio de cultivo, para as diferentes concentrações de bioestimulante aplicadas.

Figura 16 - Perfil da variável sólidos totais dissolvidos (STD) no meio de cultivo durante 8 dias, em função da concentração do bioestimulante.



Fonte: Dados da pesquisa.

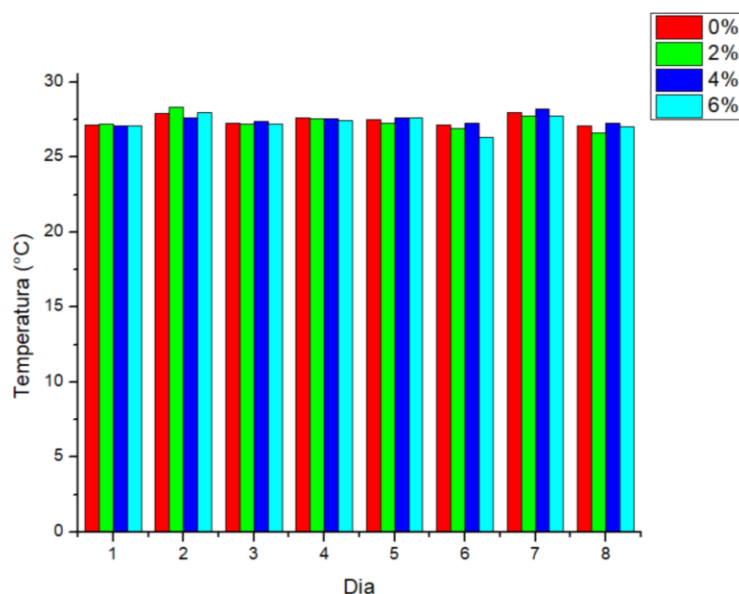
Na Figura 16, é possível verificar que houve aumento dos níveis de sólidos totais dissolvidos (STD) durante todo o experimento, com a sua diminuição no 8º dia do experimento, com a troca da solução nutritiva. As concentrações de 0% e 6% respectivamente apresentaram valores um pouco maior em relação às concentrações de 2% e 4%, com comportamento cinético semelhante.

Os níveis de TDS da água usada para cultivo de lentilha-d'água deve ser monitorado regularmente, e a água deve ser substituída se os níveis de TDS ficarem muito altos. Isso ocorre porque altos níveis de TDS podem levar a deficiências de nutrientes e outros problemas que podem afetar o crescimento das plantas. (SIVAKUMAR, 2013). No entanto, alguns estudos mostraram que a lentilha pode tolerar níveis de TDS de até 4.000 mg/L (GUO *et al.*, 2016).

Os TDS da água usada para cultivo de lentilha também podem afetar o sabor e o valor nutricional das plantas. Em geral, a lentilha d'água cultivada em água com níveis mais baixos de TDS terá um sabor melhor e maior valor nutricional (FONSECA *et al.*, 2014).

Na Figura 17, é apresentado o perfil da temperatura no meio de cultivo, para as diferentes concentrações de bioestimulante aplicadas.

Figura 17 - Perfil da variável temperatura (°C) no meio de cultivo durante 8 dias, em função da concentração do bioestimulante.



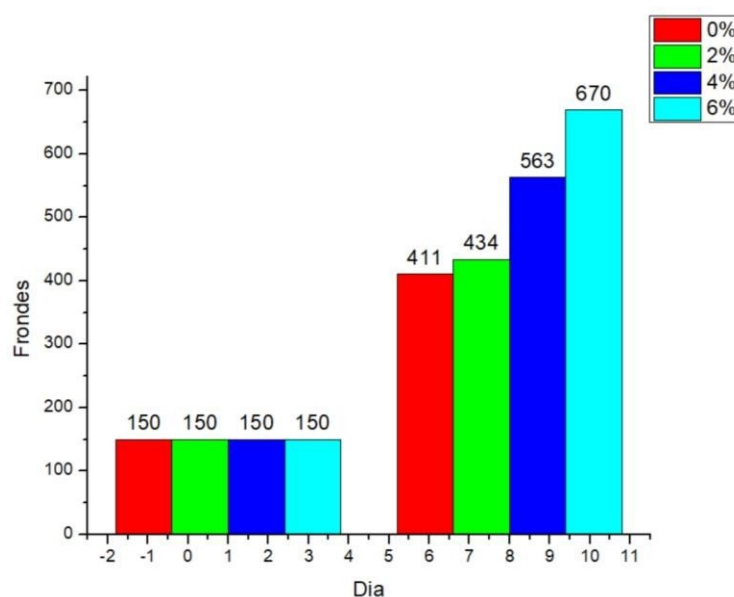
Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Analisando a Figura 17, nota-se que a temperatura da solução nutritiva apresentou uma pequena variação e se manteve entre 26,63 °C e 28,33 °C.

A lentilha d'água pode tolerar uma ampla gama de temperaturas, mas a temperatura ideal para o seu crescimento é entre 20 e 30 °C. Abaixo de 17 °C, algumas lentilhas-d'água apresentam uma taxa de crescimento decrescente. Acima de 35 °C, o crescimento é severamente afetado (GUO *et al.*, 2016).

A temperatura da água usada para o cultivo de lentilha d'água deve ser monitorada regularmente e a água deve ser substituída se a temperatura ficar muito alta ou muito baixa. Isso porque as altas temperaturas podem estressar as plantas e levar à diminuição do crescimento, enquanto as baixas temperaturas podem causar a morte (FONSECA *et al.*, 2014).

Figura 18 - Número de frondes no início e ao final de 8 dias de cultivo, em função da concentração do bioestimulante.



Fonte: Dados da pesquisa.

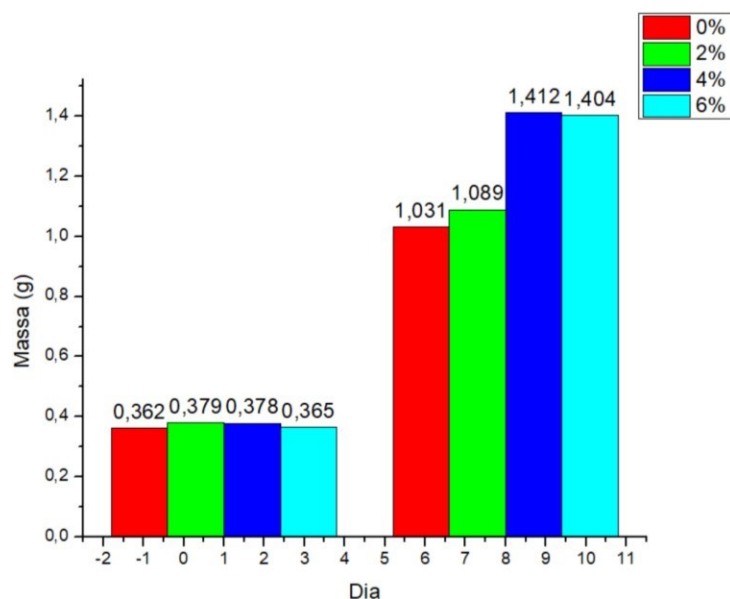
É possível observar na Figura 18 que o número de frondes no cultivo de lentilha aumenta consideravelmente com o passar do tempo e a concentração de bioestimulante. Verificou-se que quanto maior a concentração de bioestimulante, maior foi o número de frondes no 8º dia. Os resultados mais favoráveis foram obtidos utilizando as concentrações de 4% e 6%. Nessas condições, uma amostra inicial de 150 frondes resultou, em média, em 563 e 670 frondes, respectivamente.

Durante os 8 dias em que os experimentos foram realizados, ocorreram muitos períodos de clima nublado, que podem ter inibido a taxa de reprodução e aumento maior do número de frondes. Em geral, intensidades de luz e níveis de nutrientes mais altos levam ao aumento da produção de frondes (SIVAKUMAR, 2013).

O número de frondes no cultivo de lentilha-d'água deve ser monitorado regularmente, e a água deve ser substituída se o número ficar muito alto. Isso ocorre porque altas densidades de lentilha-d'água podem levar à diminuição do crescimento e rendimento, bem como problemas com a qualidade da água (FONSECA, 2014).

Na Figura 19, verificou-se que a concentração de bioestimulante de 6% resultou no melhor desempenho, com uma massa final média de 1,404. Isso representa um aumento de 385% em relação à massa inicial média de 0,365. Além disso, a concentração de 4% também apresentou resultados significativos, com uma massa final média de 1,412, representando um aumento de 374% em relação à massa inicial média de 0,378.

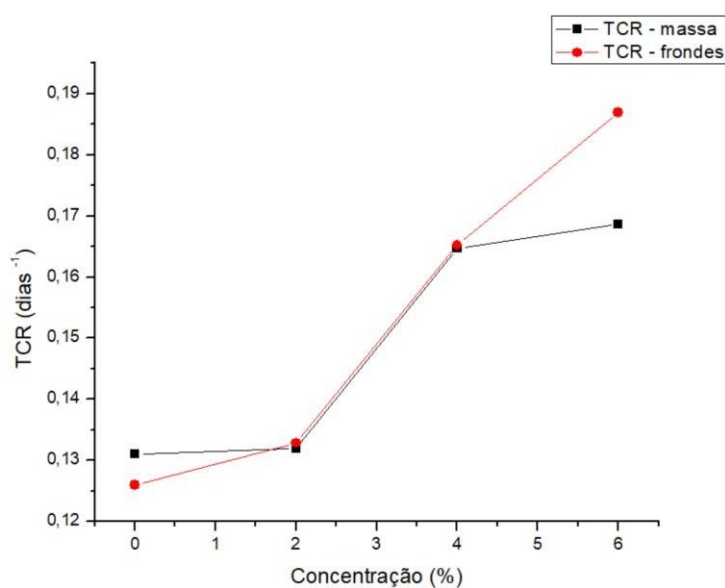
Figura 19 - Massa de lentilhas d'água no início e ao final de 8 dias de cultivo, em função da concentração do bioestimulante.



Fonte: Dados da pesquisa.

Com isso, foram realizados os cálculos de taxa de crescimento relativo e tempo de duplicação, para cada concentração de bioestimulante e utilizando como base a massa de lentilha d'água e o número de frondes, com os resultados obtidos apresentados nas Figuras 20 e 21.

Figura 20 - Taxa de crescimento relativo à massa e ao número de frondes, em função da concentração do bioestimulante.



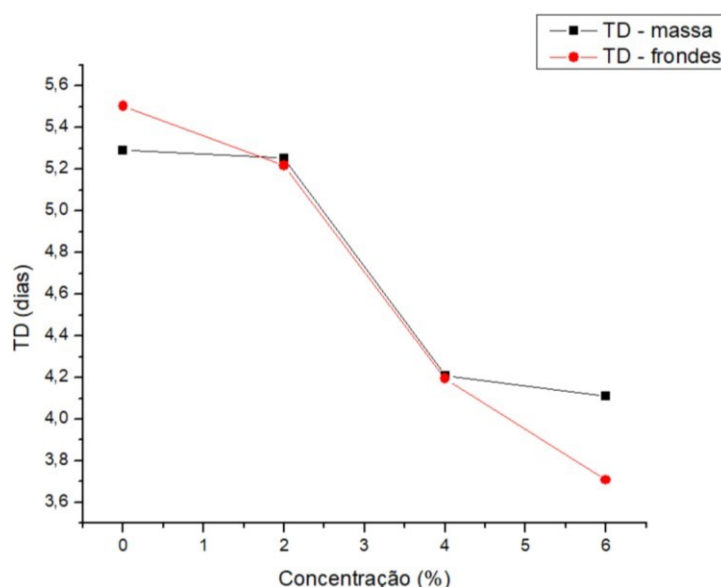
Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Analisando a Figura 20, verifica-se que as taxas de crescimento relativo aumentaram com

maiores concentrações de solução bioestimulante. Esse aumento indica um efeito positivo desse parâmetro no crescimento das plantas, ou seja, quanto maior a quantidade de bioestimulante, maior foi a TCR.

Como descrevem Kivaisi, Mwakalinga e Rubindamayugi (2019), lentilha-d'água, é uma planta de crescimento rápido e é frequentemente utilizada em sistemas de tratamento de água, pois possui a capacidade de absorver nutrientes e purificar a água. No contexto do seu cultivo, quando se adiciona uma solução bioestimulante, que é uma substância que estimula o crescimento das plantas, as taxas de crescimento relativo foram observadas aumentar. Isso significa que as plantas cresceram mais rapidamente quando expostas a maiores concentrações de solução bioestimulante.

Figura 21 - Tempo de duplicação (dias) relativo à massa e ao número de frondes e, em função da concentração do bioestimulante.



Fonte: Dados da pesquisa.

Analisando a Figura 21, foi observado que o tempo de duplicação das plantas diminui à medida que as concentrações de solução bioestimulante aumentam. Ou seja, altas concentrações dessa solução resultam em uma taxa de duplicação menor e um crescimento mais rápido das plantas. A taxa de duplicação se refere à velocidade com que as plantas se reproduzem assexuadamente, resultando em um aumento no número de indivíduos. Foram alcançados valores de TD em torno de 4 dias.

A taxa de duplicação de massa da lentilha-d'água pode ser afetada por vários fatores, mas, em condições ideais, a *Wolffia brasiliensis* apresenta tempo de duplicação de massa relatado entre 3 e 4 dias, de acordo com Sivakumar (2013), comportamento observado no presente trabalho,

No caso da lentilha-d'água, a redução na taxa de duplicação com maiores concentrações de

solução bioestimulante pode indicar que maiores níveis de nutrientes podem ter um efeito positivo no crescimento e reprodução das plantas. É importante encontrar um equilíbrio adequado na aplicação de soluções bioestimulantes, garantindo que as plantas recebam nutrientes suficientes para um crescimento saudável, sem exceder as quantidades necessárias, o que poderia ser prejudicial. Cada espécie de planta e suas necessidades específicas devem ser consideradas ao determinar a concentração ideal da solução bioestimulante para maximizar o crescimento e o desenvolvimento saudável.

5.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi escolhida como variável independente (fator) a concentração da solução de bioestimulante, preparada usando algas. Durante o período de 8 dias foram observados diversos parâmetros, para os níveis reais 0%, 2%, 4% e 6%. Foram escolhidas como variáveis dependentes (respostas) a taxa de crescimento relativo e o tempo de duplicação em relação à massa de lentilha d'água e ao número de frondes. Na Tabela 4, encontram-se os valores dos parâmetros obtidos durante a realização dos experimentos.

Tabela 4 – Taxas de crescimento relativo e tempo de duplicação calculados a partir da massa de lentilha e do número de frondes.

Concentração de bioestimulante	TCR (massa)		TD (massa)		TCR (frondes)		TD (frondes)	
	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
0%	0,131	0,011	5,289	0,428	0,126	0,001	5,502	0,048
2%	0,132	0,004	5,252	0,170	0,133	0,003	5,217	0,114
4%	0,165	0,008	4,208	0,208	0,165	0,005	4,194	0,138
6%	0,169	0,014	4,110	0,371	0,187	0,006	3,709	0,130

Fonte: Pesquisa (2023).

Para essas variáveis foi realizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, utilizando o software Statistica®, sendo observado, com 95% de confiança, que tanto para a massa como para o número de frondes, as taxas de crescimento relativo e de duplicação provêm de populações com distribuição normal, permitindo a utilização de métodos da estatística paramétrica, para entendimento da relação entre as respostas e o fator avaliado.

Foi observado anteriormente que as taxas de crescimento relativo apresentaram aumento, para maiores concentrações de solução bioestimulante, indicando efeito positivo da concentração sobre esse parâmetro. Para o tempo de duplicação, o efeito foi negativo, sendo observadas reduções para maiores concentrações, ou seja, uma maior quantidade de bioestimulante proporcionou crescimento mais rápido.

Levando-se em consideração os valores dos parâmetros, apresentados na Tabela 4, foi realizado um teste de significância, para um nível de confiança de 95%, comparando as médias obtidas para a concentração de 6% e 0%, com o intuito de verificar se a adição de bioestimulante

em uma concentração maior geraria efeito sobre as respostas. Nesse nível de confiança, para o parâmetro TCR, não é possível afirmar que os resultados obtidos sejam realmente diferentes, ou seja, não descartamos a hipótese nula de que as médias populacionais sejam iguais. Já para o tempo de duplicação, o mesmo teste indicou que os resultados médios são diferentes, ou seja, uma maior concentração de bioestimulante influencia esse parâmetro.

Para representar a dependência das respostas em relação ao fator, foram propostos de primeira ordem, quadrático e cúbico, sendo realizada a análise de variância, com o objetivo de identificar qual modelo apresenta o melhor ajuste para os dados obtidos. Para todas as respostas, o modelo que apresentou o melhor ajuste foi o cúbico. Na Tabela 5, encontram-se os resultados da ANOVA realizada para o modelo cúbico, proposto para representar a relação entre a TCR e TD calculadas a partir da massa de lentilha d'água e a concentração de bioestimulante.

Tabela 5 - Dados de análise de variância para o modelo cúbico obtidos para as respostas TCR e TD, referentes a massa.

Fonte	TCR			TD		
	SQ	GI	MQ	SQ	GI	MQ
Regressão	0,0037	3	0,0012	3,7207	3	1,2402
Resíduos	0,0008	8	0,0001	0,7855	8	0,0982
Total	0,0046	11	-	4,5062	11	-
F_{modelo}		12,063			12,631	
R^2		0,8190			0,8257	

Legenda: SQ = soma quadrática; GI = graus de liberdade; MQ = média quadrática; $F_{3,8} = 4,07$.

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

O coeficiente de determinação do modelo para a TCR apresentou valor igual a 0,8190, não sendo o valor mais adequado, porém significativo ao nível de 5%. O valor de F calculado, de 12,063 foi maior que o valor tabelado $F_{3,8}(4,07)$, em uma região de rejeição com um nível 95%, que é $p < 0,05$. Com isso, esse modelo pode ser utilizado para prever os resultados de TCR, considerando o intervalo de condições estudadas. De acordo com Sousa *et al.* (2012), O coeficiente de determinação (R^2) quantifica a qualidade do ajuste porque fornece uma medida proporcional da mudança explicada pela equação de regressão em relação à mudança na resposta total.

Para a TD o modelo apresentou valores para o coeficiente de determinação ($R^2 = 0,8257$) semelhantes, sendo significativo para o nível de 5%. O valor de F calculado foi de 12,631 é superior ao valor tabelado $F_{3,8}(4,07)$, na mesma região de rejeição avaliada para a TCR, o que permite que o modelo também possa ser utilizado para prever os resultados de TD, para o intervalo das condições estudadas.

Os modelos estatísticos obtidos para os níveis reais, para as respostas TCR e TD em relação a massa, são, respectivamente, apresentados nas Equações 3 e 4.

$$TCR(\text{dias}^{-1}) = 0,1310 - 0,0176 \cdot C(\%) + 0,0116 \cdot C(\%)^2 - 0,0013 \cdot C(\%)^3 \quad (\text{Equação 3})$$

$$TD(dias) = 5,3133 + 0,5408.C(\%) - 0,3655.C(\%)^2 + 0,0404.C(\%)^3 \quad (\text{Equação 4})$$

Na Tabela 6, encontram-se os resultados da ANOVA realizada para o modelo cúbico, proposto para representar a relação entre a TCR e TD calculadas a partir da massa de lentilha d'água e a concentração de bioestimulante.

Tabela 6 - Dados de análise de variância para o modelo cúbico obtidos para as respostas TCR e TD, referentes ao número de frondes.

Fonte	TCR			TD		
	SQ	GI	MQ	SQ	GI	MQ
Regressão	0,0073	3	0,0024	6,4011	3	2,1337
Resíduos	0,0002	8	0,00002	0,1023	8	0,0128
Total	0,0075	11	-	6,5034	11	-
F_{modelo}		120,67			166,84	
R^2		0,9784			0,9843	

Legenda: SQ = soma quadrática; GI = graus de liberdade; MQ = média quadrática; $F_{3,8} = 4,07$.

Fonte: Dados da pesquisa (2023)

O coeficiente de determinação do modelo para TCR foi igual a 0,9784, sendo possível afirmar que para esse parâmetro o modelo possui melhor ajuste do que o apresentado para a TCR calculada a partir da massa, uma vez que o coeficiente de determinação foi bem próximo de 1, indicando que quase 98% da variação associada aos resultados pode ser explicada pelo modelo proposto. O valor de F, de 120,67 foi maior que o valor tabelado $F_{3,8} (4,07)$, em uma região de rejeição com um nível 95%, que é $p < 0,05$. Com isso, esse modelo pode ser utilizado para prever os resultados de TCR, considerando o intervalo de condições estudadas.

De acordo com Sousa *et al.* (2012), O coeficiente de determinação (R^2) quantifica a qualidade do ajuste porque fornece uma medida da proporção da mudança explicada pela equação de regressão em relação à mudança na resposta total.

Para a TD o modelo apresentou valores para o coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9843$) semelhante ao observado para a TCR, sendo significativo para o nível de 5%. O valor obtido de F de 166,84 foi bem superior ao valor tabelado $F_{3,8} (4,07)$, na mesma região de rejeição avaliada para a TCR, o que permite que o modelo também possa ser utilizado para prever os resultados de TD, para o intervalo das condições estudadas.

Os modelos matemáticos, obtidos para os níveis reais, após a análise de variância, para as respostas TCR e TD em relação a massa, são, respectivamente, apresentados nas equações 5 e 6.

$$TCR(dias^{-1}) = 0,1260 - 0,0090.C(\%) + 0,0077.C(\%)^2 - 0,0008.C(\%)^3 \quad (\text{Equação 5})$$

$$TD(dias) = 5,5018 + 0,2543.C(\%) - 0,2511.C(\%)^2 + 0,0265.C(\%)^3 \quad (\text{Equação 6})$$

6 CONCLUSÃO

A análise microscópica da lentilha d'água coletada para utilização nos ensaios indicou presença de duas espécies, sendo em maior quantidade a *Wolffia brasiliensis*.

O acompanhamento dos parâmetros no meio de cultivo mostrou comportamentos semelhantes para todas as concentrações, sendo as variações atribuídas principalmente à presença e ao crescimento da lentilha d'água no meio de cultivo. Durante os 8 dias de cultivo foram observados valores de pH variando entre 5,5 e 6,8, temperatura entre 26,6 e 28,3 °C, um pequeno aumento da condutividade e da salinidade, grande redução da turbidez e do potencial de oxidação/redução e aumento da porcentagem de oxigênio dissolvido e de sólidos totais dissolvidos.

A aplicação da solução nutritiva completa administrada com a adição da solução de algas arribadas no cultivo de lentilha d'água, proporcionou aumento no número de frondes e na massa de planta após o período de 8 dias, sendo observados maiores valores para a concentração mais elevada de bioestimulante, nesse caso a solução com concentração de 6% foi considerada a mais eficiente.

A análise estatística indicou que os parâmetros, taxa de crescimento relativo (TCR) e tempo de duplicação (TD), provém de populações que seguem distribuição normal, e os testes de significância indicaram que apenas os resultados de TD foram diferentes, ou seja, ao nível de confiança de 95%, é possível afirmar que o aumento da concentração de bioestimulante teve influência apenas sobre este parâmetro.

Os resultados do planejamento fatorial permitiram propor um modelo que relacionasse o fator com as respostas estudadas, sendo o modelo cúbico o que apresentou a melhor qualidade de ajuste, o que valida a utilização desses modelos para prever os resultados de TCR e TD dentro do intervalo de concentrações estudadas.

REFERÊNCIAS

- AIKING, Harry. Future protein supply. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, n. 2-3, p. 112-120, 2011.
- ALVES, M. S.; SOARES, T.M.; SILVA, L.T.; FERNANDES, J. P.; OLIVEIRA, M. L. A.; PAZ, V. P. S. Estratégias de uso de água salobra na produção de alface em hidroponia NFT. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.15, n.5, p. 491-498, maio 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662011000500009. Acesso em: 23 junho. 2022.
- APPENROTH, Klaus-J. *et al.* Nutritional value of duckweeds (Lemnaceae) as human food. **Food chemistry**, v. 217, p. 266-273, 2017.
- APPENZELLER, C. *Wolffia* (Lemnaceae): biology and ecology of a tiny floating plant. Springer. 2004.
- AZIZ, N. A. A.; EL-MUBARAK, A. H.; OMAR, A. M. A Review on *Wolffia* Species: The Smallest Flowering Plants. **Journal of Biology and Nature**, v. 12, n. 2, p. 13-21, 2021.
- BAEK, GahYoung; SAEED, Maham; CHOI, Hyung-Kyoon. Duckweeds: their utilization, metabolites and cultivation. **Applied Biological Chemistry**, v. 64, n. 1, p. 1-15, 2021.
- BHANTHUMNAVIN, K., MCGARRY, M. *Wolffia arrhiza* as a Possible Source of Inexpensive Protein. **Nature** 232, 495. 1971.
- BULGARI, R., *et al.* The dark side of plant growth-promoting rhizobacteria. **Biology and Fertility of Soils**, v. 51, n. 7, p. 877-888, 2015.
- CALVO, P., *et al.* The role of biostimulants in alleviating abiotic stress in crop plants. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 33, n. 2, p. 418-438, 2014.
- CANELLAS, L. P., *et al.* Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 15-27, 2015.
- CAVALIER-SMITH, Thomas. A revised six-kingdom system of life. **Biological Reviews**, v.73, n. 3, p. 203-266, 1998.
- CHANDRAN, R., SINGH, V. P., & SHARMA, S. K. (2016). Effect of pH on growth and yield of duckweed (*Lemna minor*). **Indian Journal of Agricultural Sciences**, 86(11), 1449-1451.
- CHEN, S. *et al.* The duckweed used for nitrate removal in aquaculture wastewater. **Water Science and Technology**, v. 77, n. 9, p. 2191-2198, 2018.
- CLIFTON-BROWN, J. *et al.* **Sustainable bioenergy feedstock production systems: The complete landscape**. Chichester: John Wiley & Sons, 2017.
- COLLA, G.; ROUPHAEL, Y.; CARDARELLI, M.; REA, E.; COLLAFRANCESCO, R.; DE PASCALE, S. Biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate produced through enzymatic hydrolysis. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, p. 448, 2014. DOI: 10.3389/fpls.2014.00448.

CROUCH, I. J., VAN STADEN, J. Evidence for the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products. **Plant Growth Regul**, v. 13, p. 21–29, 1993.

DU JARDIN, P. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 3-14, 2015.

ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY. Phytoremediation of Heavy Metals: A Green Technology. *Environmental Science and Technology*, [S.l.], v. 43, n. 22, p. 8982-8990, 2009. **American Chemical Society (ACS)**. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/es9011478>. Acesso em: 20 mar. 2023.

ERTANI, A., *et al.* Biostimulant activity of a plant-derived protein hydrolysate produced through enzymatic hydrolysis. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1-14, 2019.

FAO. The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2020.

FAO. The State of Food and Agriculture 2021: Transforming Food Systems for Food Security, Improved Nutrition and Affordable Healthy Diets for All. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2021a

FAO. Global Soil Partnership. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2021b.

FAO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2021. Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2021c

FERREIRA, D. R., OLIVEIRA, A. C., SILVA, A. C., & PEREIRA, J. M. (2019). Development of a nutrient solution for hydroponic lettuce cultivation using seaweed flour. **Journal of Agricultural Science**, 11(5), 119-125.

FRENCH, J. C.; LEWIS, G. P.; CHASE, M. W.; & SOLTIS, D. E. (1995). A phylogenetic analysis of the Alismatales. **Botanical Journal of the Linnean Society**, 118, 29-48.

FURLANI, P. R; SILVEIRA, L. C. P; BOLONHEZI, D; FAQUIN, V. Cultivo hidropônico de plantas. Parte 2 - Solução nutritiva. 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/Hidroponiap2/Index.htm Acesso em: 24 Junho 2022.

GARCIA, F. A. *et al.* "Aplicações de Duckweed". **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**. Campina Grande, v. 25, n. 4, p. 255-260, 2021.

GHNAYA, T., *et al.* Exogenous proline mediates alleviation of cadmium stress by promoting photosynthetic activity, water status and antioxidative enzymes activities of young date palm (*Phoenix dactylifera* L.). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 126, p. 202-210, 2016.

GOMES, JF **Cultivo de plantas alimentícias não convencionais**. São Paulo: Editora XYZ, 2020, p. 120-123.

GUPTA, R., & KUMAR, V. (2018). Effect of duckweed (*Lemna minor*) on water quality and growth of Indian major carps. **Aquaculture International**, 26(3), 911-924.

GUPTA, S.; ABU-GHANNAM, N. Bioactive potential and possible health effects of edible brown seaweeds. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, n. 6, p. 315-326, 2011.

IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I., Huang, M., Leitzell K., Lonnoy, E., Matthews, J.B.R., Maycock, T.K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R., and Zhou, B. (eds.)]. Cambridge University Press.

JUDD, W. S.; CAMPBELL, C. S.; KELLOGG, E. A.; STEVENS, P. F.; DONOGHUE, M. J. **Plant systematics: A phylogenetic approach** (2nd ed.). Sinauer Associates, 2002.

JUDD, W. S.; CAMPBELL, C. S.; KELLOGG, E. A.; STEVENS, P. F.; DONOGHUE, M. J. **Early events in monocot evolution**. Springer. 1995.

JONES, M. (2018). The use of seaweed extract as a biostimulant in hydroponics. **Hydroponics International**, 26(1), 24-30.

KHALID, H. *et al.* Algae-derived bio-stimulants for sustainable agriculture: an innovative approach. **Sustainability**, v. 12, n. 12, p. 5021, 2020.

KHAN, M. I., & KHAN, N. F. (2020). Effect of duckweed (*Lemna minor*) on water quality and growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **International Journal of Environmental Science and Technology**, 17(10), 4265-4275.

KHAN, N.; BISHOP, J.; MARSHALL, J. Biostimulants application for improving vegetable crop productivity: a review. **Agronomy**, v. 9, n. 12, p. 801, 2019. DOI: 10.3390/agronomy9120801.

KHAN, W. *et al.* Algal biostimulants in agriculture. **Agriculture**, v. 9, n. 2, p. 1-17, 2019.

KIVAISI, A. K.; MWAKALINGA, B. E.; RUBINDAMAYUGI, M. S. T. The growth, nutrient removal and biomass production of *Wolffia brasiliensis* in wastewater. **Journal of Environmental Sciences**, v. 76, p. 72-80, 2019.

KUMAR, G.; SAHOO, D. Effect of seaweed liquid extract on growth and yield of *Triticum aestivum* var. Pusa Gold. **Journal of applied phycology**, v. 23, n. 2, p. 251-255, 2011

LANDOLT, E. Biosystematic investigations in the family of duckweeds (Lemnaceae). Vol. 2. The family of Lemnaceae - a monographic study. Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes, ETH, Stiftung Rübel, Zürich, 1986.

LENG, R. A.; STAMBOLIE, J. H.; BELL, R. Duckweed-a potential high-protein feed resource for domestic animals and fish. **Livestock Research for Rural Development**, v. 7, n. 1, p. 36, 1995.

LIANG, Y. *et al.* Developments and prospects of hydroponics systems. **Sustainability**, v. 12, n. 8, p. 3295, 2020.

LI, T. *et al.* Hydroponic vegetable production in China: status, opportunities and challenges. **Sustainability**, v. 13, n. 7, p. 3939, 2021.

- LIMBERGER; Pâmela Andressa, GHELLER; Jorge Alberto, Efeito da aplicação foliar de extrato de algas, aminoácidos e nutrientes via foliar na produtividade e qualidade de alface crespa. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 1, p. 148 - 161, 2012.
- LIU, Q. et al. Effect of irrigation water and nutrient solution management on yield, quality and water use efficiency of cucumber in a soilless culture system. **Agricultural Water Management**, v. 217, p. 95-103, 2019.
- LOPES, J. L. et al. Influence of nutrients and light intensity on the growth and protein content of the aquatic macrophyte *Wolfia brasiliensis* (Regnell) Oliveira (Araceae). **Acta Scientiarum Biological Sciences**, v. 42, n. 1, p. 1-8, 2020.
- LOURENÇO, Arthur Rodrigues; BOVE, Claudia Petean. Flora do Rio de Janeiro: Lemnoideae (Araceae). **Rodriguésia**, v. 70, 2019.
- MA, X. et al. Characterization of duckweed species for biofuels production: growth dynamics and nutrient removal capacity. **Bioresource Technology**, v. 224, p. 210-217, 2017.
- MACKINNON, Shawna L. et al. Improved methods of analysis for betaines in *Ascophyllum nodosum* and its commercial seaweed extracts. **Journal of Applied Phycology**, v. 22, n. 4, p.489-494, 2010.
- MERCOVICH, E., LANDESMAN, L., LAM, E., & FAKHOORIAN, T. ([s.d.]). International Steering Committee on Duckweed Research and Applications Members.
- NASCIMENTO, I. A. et al. Desenvolvimento de um sistema para cultivo de plantas aquáticas comestíveis em águas residuárias de aquicultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 9, p. 639-643, 2017.
- NETO, E. B.; BARRETO, L. P. Técnicas de Hidroponia. In: academia pernambucana de Ciência Agrônoma, 8 e 9. 2012, Pernambuco. Anais... Pernambuco: academia pernambucana de Ciência Agrônoma, 2011/2012. P. 107- 137.
- OLIVEIRA, F. L., SILVA, D. S. M., OLIVEIRA, E. P., ARAÚJO, R. S., & CASTRO, P. R. C. (2019). Use of algae meal in hydroponic system for production of sweet pepper. **Agronomy**, 9(3), 126. doi: 10.3390/agronomy9030126
- PLANT PHYSIOLOGY. Duckweed: A Tiny Aquatic Plant with Enormous Potential for Agriculture and Environment. *Plant Physiology*, [S.l.], v. 167, n. 3, p. 803-814, 2015. American Society of Plant Biologists. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.114.253495>. Acesso em: 20 mar. 2023.
- PlanPar - Indústria e comércio de fertilizantes. Disponível em: <https://plantpar.com.br/kit-hidroponico-alface-flex-vermelho-flex-azul-25kg#:~:text=%20INSTRUÇÕES%20DE%20USO,a%20qualidade%20da%20solução%20nutritiva>. Acesso em: 22 mai. 2023.
- PANDEY, M., & SHUKLA, A. K. (2020). Plant tissue culture: an overview. In *Plant Tissue Culture* (pp. 1-12). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0507-1_1
- PEREIRA, AS "Lentilha-d'água como alimento humano". **Revista de Nutrição e Alimentação**. Rio de Janeiro, v. 5, n. 2, pág. 35-41, jul. 2021.

PRADO, R. M. et al. Effect of nutrient solution on growth and mineral composition of two species of red leaf lettuce grown in hydroponic system. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, n. 6, p. 604-615, 2019.

PRASAD, R., SHIVAKUMAR, M., PRASAD, B. R., & SRIVASTAVA, G. K. (2021). Plant Biotechnology: Recent Advances and Future Prospects. In *Plant Biotechnology for Sustainable Production of Energy and Co-products* (pp. 1-20). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6911-7_1

POTT, V.J.; LOURENÇO, A.R. *Lemna in Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB5004> Acesso em: 21 out. 2022

QUEIROZ LUZ, J. M., ALVES DINIZ DA SILVA, M., LIMA HABER, L., PIROLLA, A. C., & ARVATI DORO, L. F. Cultivo hidropônico de chicórias lisa e crespa e almeirão em diferentes concentrações de solução nutritiva. **Revista Ciência Agronômica**, 40(4). 2009.

RESH, Howard M. **Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower**. CRC press, 2022.

RODIL IF, LASTRA M, LÓPEZ J, MUCHA AP, FERNANDES JP, FERNANDES SV, OLABARRIA C. Sandy Beaches as Biogeochemical Hotspots: The Metabolic Role of Macroalgal Wrack on Low-productive Shores. *Ecosystems*, 1-15. 2018.

ROCHA, C. F. D. *et al. Algas arribadas: biologia, ecologia e impactos ambientais*. Rio de Janeiro: Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro (RETERio), 2021. Disponível em: https://www.reterio.fiocruz.br/images/algas_arribadas_reterio.pdf. Acesso em: 24 mar.2023.

ROUPHAEL, Y., *et al.* Plant biostimulants: Innovative tool for enhancing plant nutrition and growth. **Agronomy**, v. 8, n. 3, p. 1-29, 2018.

ROUPHAEL, Y.; CARDARELLI, M.; COLLAFRANCESCO, R.; DELL'AVERSANA, E.; SCHETTINI, E.; REA, E.; SERIO, F. Plant biostimulants: innovative tool for enhancing plant growth and productivity in organic farming. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 24, n. 2, p. 206-213, 2017. DOI: 10.1016/j.sjbs.2016.12.002.

RYLOTT, E. L.; JACKSON, R. W. Hydroponics: A solution to sustainable food production? **Microbial Biotechnology**, v. 13, n. 3, p. 714-717, 2020.

SAATH, Kleverton Clovis de Oliveira; FACHINELLO, Arlei Luiz. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 56, p. 195-212, 2018.

SAHA, P.; YEASMIN, S.; ISLAM, A. K. M. R. Hydroponic production of duckweed (*Lemna minor* L.) as an alternative protein source for fish feed. **Aquaculture Reports**, v. 13, p. 100180, 2019.

SANTOS, D. R. et al. Algas arribadas: um problema ambiental. **Revista Eletrônica Iniciação Científica**, v. 6, n. 1, p. 1-11, 2020. Disponível em: <https://www.inicepg.univap.br/c> Acesso em: 2 mar. 2023.

- SANTOS, O. S.; SCHMIDT, D.; NOGUEIRA FILHO, H.; LONDERO, F. A. **Cultivos sem solo – Hidroponia**. 2ª reimpressão. Santa Maria: UFSM/CCR, 2002. 107p.
- SANTOS, O.S.; NOGUEIRA FILHO, H.; FRONZA, D.; FILIPETTO, J.E.; BASSO, D.P. Elaboração de solução nutritiva para produção de tomate com cacho único. UFSM, Colégio Politécnico, 4p. (Informe Técnico 01/2011). 2011.
- SANTOS, T. F.; SILVA, J. C. O. Plantas aquáticas: uma revisão sobre *Wolffia brasiliensis*. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 19, n. 2, p. 96-103, 2019.
- SAVVAS, D.; PASSAM, H. C. *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2018.
- SAVVAS, D.; GRUDA, N. Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry – a review. **European Journal of Horticultural Science**, v. 83, n. 5, p. 280-293, 2018.
- SCHOCH, Conrad L. et al. NCBI Taxonomy: a comprehensive update on curation, resources and tools. **Database**, v. 2020, 2020.
- SHANAN, N. T.; HIGAZY, A. M. Integrated biofertilization management and cyanobacteria application to improve growth and flower quality of *Matthiola incana*. **Res J Agric Biol Sci**. p.1162- 1168, 2009.
- SHARMA, H. S. S. et al. Plant biostimulants: A review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. **Journal of Applied Phycology**, v. 26, n. 1, p. 465–490, 2014
- SHI, L., CAO, Z., & LIN, Y. (2020). Effects of seaweed extracts on growth, photosynthesis, and nutrient uptake of lettuce in hydroponic system. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**,183(6), 729-738. doi: 10.1002/jpln.201900648
- SILVA, AB Lentilhas d'água: uma visão geral sobre a subfamília Lemnoideae. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 41, n. 4, pág. 653-662, 2018.
- SILVA, M. F., LUZ, L. N., GOMES, E. N., REIS, C. E., & LIMA, S. S. (2017). Nutritional composition and mineral profile of some aquatic macrophytes consumed in Brazil. **Journal of Food Composition and Analysis**, 56, 61-68. doi: 10.1016/j.jfca.2016.12.009
- SILVA, M. C. S., COSTA, L. A. S., BEZERRA, A. J. F., RODRIGUES, L. A., & DA SILVA, G. J. (2016). Seaweed meal as a source of plant growth-promoting compounds in hydroponic systems. **Frontiers in Plant Science**, 7, 1756. doi: 10.3389/fpls.2016.01756
- SINGH, B.; SHARMA, R. R.; KUMAR, S.; MALIK, R. K. Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: A review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52,n. 2, p. 1-13, 2015.
- SIKDER, M. M. et al. The use of macroalgae for producing fertilizers and bio-stimulants: an overview. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, p. 49, 2020.
- SIVAKUMAR, M. (2013). *Wolffia brasiliensis*: A potential bio-resource for food, feed and biofuel production. **Current Science**, 105(3), 387-394.

SMITH, J. (2017). The effect of seaweed extract on the growth and yield of tomato plants grown in hydroponics. **Journal of Agricultural Science**, 155(1), 109-116.

SOUZA, R. F. B., LIMA, M. M., SILVA, F. O., & FREITAS-SILVA, O. (2015). Chemical composition and nutritional potential of some aquatic macrophytes for human consumption. **Food Chemistry**, 179, 334-339. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.01.129

TOMÉ, Daniel. Digestibility issues of vegetable versus animal proteins: protein and amino acid requirements—functional aspects. **Food and nutrition bulletin**, v. 34, n. 2, p. 272-274, 2013.

TUNA, A. L., et al. The effects of calcium sulphate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 62, n. 1, p. 107-113, 2008.

United Nations Children's Fund (UNICEF). The State of Food Security and Nutrition in the World 2022. 22^o ed. The State of Food Security and Nutrition in the World (SOFI), 2022.

VAGNER, M.; LOVECKA, P. The effect of selected cultivation conditions on growth and nutritional composition of duckweed (*Lemna minor*). **Annals of Agricultural and Environmental Medicine**, v. 23, n. 4, p. 674-678, 2016.

WANG W, RANDALL AK, TODD PM. (2011) Evolution of Genome Size in Duckweeds (*Lemnaceae*). **Journal of Botany**, vol. 2011.

WENDEOU, S., AINA, M., CRAPPER, M., ADJOVI, E., & MAMA, D. (2013). Influence of Salinity on Duckweed Growth and Duckweed Based Wastewater Treatment System. **Journal of Water Resource and Protection**, 5(10), 993-999.

<http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2013.510103>.

WOESE, Carl R.; FOX, George E. Phylogenetic structure of the prokaryotic domain: the primary kingdoms. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 74, n. 11, p. 5088-5090, 1977.

YAKHIN, O.; RUSSO, M.; GARUCCIO, I.; RUSSO, G.; MOLITORISI, P.; HIGH, C. M. Biostimulants in plant science: a global perspective. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 2049, 2017. DOI: 10.3389/fpls.2017.02049.

ZANARDI-LAMARDO, E.; LOPES, J. L.; VILAS BOAS, R. C. *Wolfia brasiliensis* (Regnell) Oliveira (Araceae) as a bioindicator of eutrophication in a reservoir in southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 78, n. 2, p. 290-296, 2018.

ZHU, Y., WANG, X., ZHANG, Y., & LI, J. (2016). Effects of duckweed (*Lemna minor* L.) on pH, water quality and growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) in a static system. **Aquaculture Research**, 47(11), 2898-2906.

ZOU, Y. et al. Evaluation of duckweed species for bioethanol production by direct saccharification and fermentation of starch. **Bioresource Technology**, v. 273, p. 709-714, 2019.