

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA - UFOB
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE LUIS EDUARDO MAGALHÃES
ENGENHARIA DE BIOTECNOLOGIA**

PÂMELA DE OLIVEIRA SOUZA

**INVESTIGAÇÃO DO POTENCIAL DE *SPIRULINA MÁXIMA* COMO BIOINSUMO
NA SOJA**

LUÍS EDUARDO MAGALHÃES-BA

2024

PÂMELA DE OLIVEIRA SOUZA

**INVESTIGAÇÃO DO POTENCIAL DE *SPIRULINA MÁXIMA* COMO BIOINSUMO
NA SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC II),
apresentado à Universidade Federal do Oeste
da Bahia como parte dos requisitos necessários
à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Biotecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Felipe da Silva Figueira

LUÍS EDUARDO MAGALHÃES – BA

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

S729 Souza, Pâmela de Oliveira.

Investigação do potencial de spirulina máxima como bioinsumo na soja. /Pâmela de Oliveira Souza. – 2024.

34 f.; il.

Orientador: Prof. Dr. Felipe da Silva Figueira.

Trabalho de Conclusão de Curso: (Graduação em Engenharia de Biotecnologia) – Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro Multidisciplinar de Luís Eduardo Magalhães, Luís Eduardo Magalhães, BA, 2024.

1. Microalgas – Aplicações biotecnológicas. 2. Bioinsumos. 3. Agricultura sustentável - Soja.

I. Figueira, Felipe da Silva. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia – Centro Multidisciplinar de Luís Eduardo Magalhães. III. Título.

CDD: 660.6

BIBLIOTECAS UFOB - Biblioteca Universitária de Luís Eduardo Magalhães



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
Centro Multidisciplinar de Luís Eduardo Magalhães - CMCLEM
Colegiado do Curso de Engenharia de Biotecnologia - CEB

Ata da Apresentação de Trabalho de Conclusão de Curso II do Colegiado do Curso de Engenharia de Biotecnologia

1 Aos sete dias do mês de agosto de 2024 (dois mil e vinte e quatro), às 14h00min (quatorze
2 horas), na sala virtual do Google Meet, reuniu-se a banca examinadora de apresentação de
3 Trabalho de Conclusão de Curso II de 2024.1, sob a presidência do professor orientador,
4 **Prof. Dr. Felipe da Silva Figueira**, com a **Profa. Dra. Aurizangela Oliveira de Sousa**, 2º
5 Membro Docente, e o **Prof. Dr. Taidés Tavares dos Santos**, 3º Membro Docente, para
6 avaliar o trabalho de conclusão de curso II (TCC II) intitulado **Investigação de potencial de**
7 ***Spirulina maxima* como bioinsumo na germinação de semente de soja**, apresentado por
8 **Pâmela de Oliveira Souza** como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em
9 Engenharia de Biotecnologia. Após análise do trabalho, da apresentação e da arguição, a
10 banca atribuiu média igual a 7,8 e, assim, considerou o trabalho **APROVADO**. E nada mais
11 havendo, às 16:48, eu, Jamilly Ribeiro Lopes, Coordenadora de TCC do Colegiado do curso
12 de Engenharia de Biotecnologia, lavrei a presente ata que depois de lida será assinada por
13 quem de direito.

Documento assinado digitalmente



FELIPE DA SILVA FIGUEIRA
Data: 12/08/2024 20:02:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Felipe da Silva Figueira – UFOB

Documento assinado digitalmente



AURIZANGELA OLIVEIRA DE SOUSA
Data: 15/08/2024 09:59:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Aurizangela Oliveira de Sousa - UFOB

Documento assinado digitalmente



TAIDES TAVARES DOS SANTOS
Data: 15/08/2024 11:41:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Taidés Tavares dos Santos - (UFNT)

Documento assinado digitalmente



PAMELA DE OLIVEIRA SOUZA
Data: 18/08/2024 19:48:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Pâmela de Oliveira Souza

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus e à minha querida família. Agradeço especialmente ao meu tio Edivan Souza e sua família, cuja ajuda foi essencial para que esta jornada pudesse começar, e ao meu tio Ivan Souza e sua família, que me apoiaram de inúmeras maneiras ao longo de todo o caminho.

Sou profundamente grato(a) a Gabriela Amaral, Daniel Prado, Marcos Araújo, Eduardo Garabetti e Uandala Araújo, que me apoiaram tanto dentro quanto fora da universidade. Seja por meio de ajuda nos estudos ou por conversas amigas, estiveram ao meu lado nos momentos mais difíceis da faculdade, inclusive quando pensei que não seria capaz de concluir minha formação.

Aos professores que trouxeram luz a esta aluna, cuja jornada de aprendizado continua a iluminar novos caminhos, expresso minha profunda admiração e respeito. Em especial, agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Felipe da Silva Figueira, cuja orientação foi muito mais do que acadêmica — ele me guiou com motivação e apoio constantes, ajudando-me a crescer e a brilhar ainda mais ao longo deste ciclo. Agradeço também à minha banca avaliadora, Profa. Dra. Aurizângela Oliveira de Sousa e Prof. Dr. Taidés Tavares dos Santos, cujas contribuições foram essenciais para a conclusão deste trabalho.

A todos que, de alguma forma, fizeram parte dessa jornada, deixo o meu sincero agradecimento de coração.

RESUMO

A agricultura moderna enfrenta o desafio de aumentar a produtividade de forma sustentável. Neste contexto, a busca por alternativas aos fertilizantes químicos levou à investigação de biofertilizantes de microalgas, como a *Spirulina máxima*. Este estudo analisa o impacto da *Spirulina máxima* no crescimento de plântulas de soja: *Glycine max* (L.) Merrill, avaliando sua eficácia como bioestimulante em concentrações de 1, 3 e 5 g/L. As sementes foram tratadas antes da germinação em papel germitest, avaliando-se o crescimento radicular, aéreo, germinação e massa seca. Os resultados mostraram que a *Spirulina máxima* melhora significativamente o crescimento radicular em todas as concentrações, com melhor desempenho a 1 g/L. No entanto, houve inibição do crescimento aéreo em entre eles e o controle, e os demais testes não mostraram diferença significativa. Estes resultados sugerem que a *Spirulina máxima* é um potente enraizador, essencial para a absorção de nutrientes e água, e que sua combinação com outros bioestimulantes pode otimizar o crescimento aéreo, promovendo uma agricultura mais sustentável.

Palavras-chave: agricultura sustentável, biofertilizantes, microalgas, crescimento radicular.

ABSTRACT

Modern agriculture faces the challenge of increasing productivity in a sustainable way. In this context, the search for alternatives to chemical fertilisers has led to research into microalgae biofertilisers, such as *Spirulina máxima*. This study analyses the impact of *Spirulina máxima* on the growth of soya bean seedlings: *Glycine max* (L.) Merrill, assessing its efficacy as a biostimulant at concentrations of 1, 3 and 5 g/L. The seeds were treated before germination on germ paper and root growth, aerial growth, germination and dry mass were assessed. The results showed that *Spirulina máxima* significantly improved root growth at all concentrations, with the best performance at 1 g/L. However, there was inhibition of aerial growth between them and the control, and the other tests showed no significant difference. These results suggest that *Spirulina máxima* is a powerful rooting agent, essential for the absorption of nutrients and water, and that its combination with other biostimulants can optimise aerial growth, promoting more sustainable agriculture.

Keywords: sustainable agriculture, biofertilisers, microalgae, root growth.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Soluções de <i>Spirulina</i> . T1 – 1 g/L T2 – 3 g/L T3 – 5 g/L.....	19
Figura 2. Aplicação da solução de microalga na semente de soja.....	20
Figura 3. Papel germitest utilizado e o semeador.....	21
Figura 4. Teste de germinação após 7 dias pronto para avaliação, plântulas da concentração UG.	21
Figura 5. Plântulas selecionadas aleatoriamente para análise de comprimento, plântulas da concentração t1.....	22
Figura 6. Amostras posicionadas para secagem em estufa.....	23
Figura 7. Comprimento das plântulas em função da concentração.	24
Figura 8. Amostra de plântulas selecionadas aleatoriamente para avaliação de comprimento, alinhadas em uma folha graduada de 0 a 27 cm. (A) Controle, sem a presença de microalgas, apenas com água destilada; (B) Tratamento 1, com solução de <i>Spirulina máxima</i> a 1 g/L; (C) Tratamento 2, com solução de <i>Spirulina máxima</i> a 3 g/L; e (D) Tratamento 3, com solução de <i>Spirulina máxima</i> a 5 g/L.	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Comparação de algumas características dos fertilizantes tradicionais com os três tipos de biofertilizantes.....	16
Tabela 2. Resultados do Teste de Tukey para a Porcentagem de Massa Seca nos Ensaios Realizados.....	27
Tabela 3. Porcentagem de Germinação dos Ensaios Realizados.	28

SUMÁRIO

RESUMO	4
1 INTRODUÇÃO	9
2 JUSTIFICATIVA	11
3 OBJETIVOS	12
3.1 OBJETIVO GERAL.....	12
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
4.1 AGRICULTURA BRASILEIRA E A PRODUÇÃO DE SOJA.....	13
4.1.1 Uso de produtos ou agentes químicos na soja: benefícios e impactos ambientais	13
4.2 USO DE BIOINSUMOS NA AGRICULTURA	14
4.2.1 Microalgas como biofertilizantes	15
4.3 MICROALGAS.....	17
4.3.1 <i>Spirulina máxima</i>	17
5 METODOLOGIA	19
5.1 MATERIAL VEGETAL	19
5.2 PREPARO DAS SOLUÇÕES DE <i>SPIRULINA</i>	19
5.3 TRATAMENTO DAS SEMENTES	20
5.4 PROCEDIMENTO DE GERMINAÇÃO	20
5.5 CONDIÇÕES CONTROLADAS	Erro! Indicador não definido.
5.6 MANEJO DAS SEMENTES DURANTE A AVALIAÇÃO.....	21
5.7 PARÂMETROS AVALIADOS	22
5.7.2 Comprimento de plântula, raiz e parte aérea	22
5.7.3 Critérios de seleção de plântulas	22
5.7.4 Massa seca de raiz e parte aérea	23
5.8 REPLICAÇÃO DO EXPERIMENTO	Erro! Indicador não definido.
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
6.1 RESULTADOS	23
6.2 DISCUSSÃO	26
7 CONCLUSÃO	28
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1 INTRODUÇÃO

A agricultura é uma atividade que tem grande impacto na sociedade e no meio ambiente, sendo fundamental para garantir a produção de alimentos (Clark; Tilman, 2017; Pretty et al., 2018). Com o crescimento populacional exponencial abundante (FAO, 2022) surge uma grande preocupação: a expansão territorial limitada. Dessa forma, torna-se necessário aumentar a produtividade da produção alimentícia (Paula, 2020). A utilização de fertilizantes é um processo essencial para o aumento da produtividade agrícola e, conseqüentemente, para a garantia da segurança alimentar global (Zhang et al., 2019).

No entanto, o uso excessivo e inadequado desses insumos tem causado danos ao meio ambiente e à saúde humana, além de gerar custos elevados para os produtores (Zhang et al., 2019) sendo fundamental o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis e eficientes para garantir a produção de alimentos em larga escala sem comprometer os recursos naturais (Clark & Tilman, 2017; Pretty et al., 2018). Neste contexto, uma alternativa sustentável e promissora é o uso de biofertilizantes, que consistem em substâncias de origem biológica capazes de fornecer nutrientes para as plantas de forma mais equilibrada e menos agressiva (Ronga et al., 2019; Lee et al., 2020). Esses biofertilizantes podem ser utilizados tanto isoladamente quanto em conjunto com fertilizantes químicos, reduzindo seu impacto ambiental (Suhadolc et al., 2021).

A necessidade de insumo sustentável para a produção de componentes bioativos aplicáveis no ramo agrícola resultou em notável interesse nas microalgas. (Balasubramaniam et al., 2021). As microalgas, um grupo de organismos notavelmente interessante, desempenham um papel importante no enriquecimento da matéria orgânica no solo. Elas liberam compostos orgânicos e adicionam biomassa ao solo, o que melhora sua estrutura, aumenta a capacidade de retenção de umidade e aprimora a fertilidade geral. Além disso, a produção de metabólitos, como fitohormônios e polissacarídeos, por essas microalgas pode oferecer benefícios adicionais para a agricultura (Guo et al., 2020).

Biofertilizante à base de microalga destaca-se por apresentar inúmeras vantagens em relação aos fertilizantes convencionais (Sommerfeld, 2016; Garcia-Gonzalez; Ronga et al., 2019; Balasubramaniam et al., 2021) tais como a alta capacidade propagação, gerando um volume maior de biomassa por hectare do que as plantas vasculares terrestres; (Wang et al., 2020), melhor adaptabilidade que os bioinsumos bacterianos, devido à sua versatilidade em condições variáveis de umidade, pH e luz (Montalván et al., 2024a; Montalván et al., 2024b) e uma rica fonte de compostos bioativos (Dolganyuk, 2020).

O estudo sobre o biofertilizante à base de microalga reveste-se de extrema importância, pois destaca-se significativamente em relação aos fertilizantes convencionais. Esse biofertilizante à base de microalga demonstra uma alta capacidade de propagação, resultando em um volume substancialmente maior de biomassa por hectare do que o produzido por plantas vasculares terrestres. Além disso, o biofertilizante à base de microalga exibe uma adaptabilidade superior em condições ambientais variáveis, como umidade, pH e luz, quando comparado aos bioinsumos bacterianos.

A microalga utilizada como biofertilizante também se caracteriza por ser uma rica fonte de compostos bioativos, o que potencializa a qualidade do solo e promove um crescimento vegetal mais vigoroso e saudável. Assim, a pesquisa sobre esse biofertilizante à base de microalga representa um avanço significativo para a agricultura sustentável, contribuindo de maneira decisiva para a mitigação dos impactos ambientais negativos associados ao uso de fertilizantes convencionais.

2 JUSTIFICATIVA

A relevância do tema é destacada pela necessidade crescente de práticas agrícolas que conciliem produtividade e sustentabilidade ambiental. A aplicação de biofertilizantes naturais, como a *Spirulina máxima*, representa uma alternativa promissora para reduzir a dependência de fertilizantes químicos, minimizar os impactos ambientais negativos e promover uma agricultura mais verde. Estudos indicam que os biofertilizantes à base de microalgas, como a *Spirulina*, não apenas melhoram a fertilidade do solo, mas também aumentam a resistência das plantas a doenças e estresses ambientais (Martínez et al., 2018).

Entre as principais contribuições esperadas com este estudo, além da conscientização sobre a importância da utilização de práticas sustentáveis na produção agrícola (Pretty et al., 2018), e o estímulo ao desenvolvimento de pesquisas e tecnologias relacionadas ao tema (Lee et al., 2020) busca-se contribuir para o avanço do conhecimento sobre o uso de biofertilizantes à base de microalgas como alternativa aos fertilizantes químicos convencionais na cultura de *Glycine max* (soja) (Garcia-Gonzalez & Sommerfeld, 2016).

Sendo assim essa pesquisa salienta que, a utilização de biofertilizantes pode contribuir significativamente para a redução da pegada de carbono na agricultura, promovendo um ciclo de nutrientes mais eficiente e sustentável. Conclui-se que a escolha deste tema é de significativa relevância tanto no âmbito social quanto no acadêmico. Dada a importância da agricultura como uma atividade com grande impacto na sociedade e no meio ambiente, é fundamental o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis e eficientes que assegurem a produção de alimentos em larga escala sem comprometer os recursos naturais.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Investigar o potencial da *Spirulina máxima* como biofertilizante nas plântulas de soja (*Glycine max*), através do crescimento radicular e aéreo das plântulas, potencial germinativo e massa seca.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a eficácia da *Spirulina máxima* como bioestimulante em diferentes concentrações no crescimento de plântulas de soja;
- Comparar o crescimento radicular e aéreo, a taxa de germinação e a massa seca das plântulas de soja tratadas com *Spirulina máxima* máxima e controle;
- Comparar a taxa de germinação das plântulas de soja tratadas e não tratadas com *Spirulina máxima* máxima;
- Comparar a massa seca das plântulas de soja tratadas e não tratadas com *Spirulina máxima* máxima;

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 AGRICULTURA BRASILEIRA E A PRODUÇÃO DE SOJA

A *Glycine max* (L.) Merrill, conhecida popularmente como soja, é uma leguminosa de grande relevância econômica e agrícola, integrante da família Fabaceae. No Brasil, a soja destaca-se como uma das principais culturas, evidenciando sua classificação como oleaginosa devido à rica composição de lipídios e proteínas em seus grãos.

Esses atributos não apenas reforçam seu papel como uma *commodity* crucial, sendo utilizada como matéria-prima em diversos produtos comerciais, mas também sustentam uma ampla gama de indústrias que dependem de seus derivados (Moraes Junior, 2020). Com uma produção recordista em 2020/2021, o Brasil se posicionou como líder global na produção de soja, alcançando 136 milhões de toneladas e demonstrando uma produtividade média de 3.529 kg por hectare cultivado em aproximadamente 38,5 milhões de hectares (Murata, 2021).

Portanto, a soja se mantém como uma cultura vital para o Brasil, sendo imperativo que continuem os esforços para harmonizar as práticas agrícolas com as necessidades ambientais e sociais (Trichez et al., 2018). A evolução constante das técnicas de cultivo e das políticas ambientais indica um futuro promissor para a sustentabilidade na agricultura brasileira, onde a soja continua a ser um vetor de inovação e progresso econômico.

4.1.1 Uso de produtos ou agentes químicos na soja: benefícios e impactos ambientais

No contexto atual da agricultura, a prática do tratamento de sementes é essencial, especialmente no cultivo de soja. Esta técnica envolve a aplicação de agentes químicos diretamente nas sementes antes da semeadura, com o objetivo de protegê-las contra pragas e doenças que possam comprometer o desenvolvimento inicial das plantas (Sarkar et al., 2020). O tratamento de sementes é empregado para aumentar a resistência das plantas, melhorar a taxa de germinação e garantir uma lavoura saudável desde o início.

As tecnologias de tratamento de sementes têm evoluído significativamente, incorporando novos agentes químicos e métodos de aplicação que garantem uma cobertura uniforme e eficaz (Renuka et al., 2018). Os benefícios dessa prática incluem o aumento da taxa de germinação, maior uniformidade no desenvolvimento das plantas e uma redução

significativa na necessidade de aplicações posteriores de pesticidas no campo (Sarkar et al., 2020; Renuka et al., 2018).

No entanto, é essencial considerar os impactos ambientais associados ao uso de químicos no tratamento de sementes. A aplicação indiscriminada e excessiva desses produtos pode resultar em contaminação do solo e da água, afetando negativamente os ecossistemas locais (Faheed; Fattah, 2023). As práticas agrícolas associadas ao cultivo de soja frequentemente resultam em alterações ambientais significativas, incluindo a conversão de ecossistemas naturais em áreas de cultivo e o subsequente declínio da qualidade do solo.

Este ciclo é intensificado pela contínua expansão agrícola em busca de novas terras, muitas vezes ignorando os custos elevados necessários para restaurar áreas já degradadas (Faheed; Fattah, 2023). Esta técnica consiste na aplicação de fungicidas, inseticidas e outros produtos diretamente nas sementes antes da semeadura. No entanto, o ambiente sofre com as consequências da poluição gerada pelo uso excessivo de fertilizantes e pesticidas, comprometendo a sustentabilidade dos ecossistemas locais, colocando em risco a biodiversidade e a saúde dos solos.

4.2 USO DE BIOINSUMOS NA AGRICULTURA

No cenário atual, marcado por uma crescente preocupação com a sustentabilidade ambiental e a segurança alimentar, a adoção de práticas agrícolas inovadoras tem ganhado destaque. Nesse contexto, os bioinsumos são essenciais para a nutrição das plantas, recuperação do solo e controle biológico de pragas, através da produção de biomoléculas como hormônios, enzimas e vitaminas (Vidal et al., 2021).

O uso crescente de insumos biológicos na agricultura reflete a demanda do mercado por produtos cultivados com menos químicos sintéticos, uma tendência impulsionada pela consciência ambiental e pela busca por alimentos mais saudáveis (Puglisi et al., 2018). Diante dos desafios ambientais, a importância de estratégias sustentáveis na produção de soja é amplamente reconhecida (Rizwan, 2018).

Com base no supracitado, a sustentabilidade torna-se um pilar central, fundamental não apenas para a conservação dos recursos naturais, mas também para a viabilidade a longo prazo do agronegócio brasileiro (Trichez et al., 2018). A interação entre agricultura e sustentabilidade aponta para um caminho progressivo, onde a preservação ambiental e a eficiência econômica devem caminhar juntas. Este movimento está alinhado com a redução

progressiva de moléculas químicas disponíveis, motivada por preocupações com a saúde humana e a proteção ambiental (Colla; Roupael, 2020).

Nesse contexto, a interação entre o solo e a planta é vista como um sistema integrado que busca harmonia e eficiência produtiva, reduzindo a utilização de agroquímicos e privilegiando produtos de menor impacto ambiental. Reconhecendo o potencial dos bioinsumos, o Brasil implementou o Programa Nacional de Bioinsumos em 2020, uma iniciativa do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que visa ampliar o uso de insumos biológicos, promovendo a sustentabilidade e valorizando o patrimônio genético nacional (Santos et al., 2021).

Embora os agroquímicos sintéticos ainda predominem no controle de pragas e doenças, o controle biológico tem ganhado espaço, refletindo uma mudança nos paradigmas tecnológicos do setor (Vidal et al., 2021). O mercado de bioinsumos tem crescido significativamente, com uma taxa anual de 10%, alcançando vendas anuais de aproximadamente US\$ 1 bilhão (Marchetti et al., 2023). Este crescimento contínuo reflete a crescente funcionalidade e importância desses insumos para o desenvolvimento sustentável da agricultura.

Embora se preveja que os insumos químicos continuem sendo fundamentais para a agricultura no curto prazo, a tendência é que as práticas sustentáveis ganhem cada vez mais espaço (Rizwan, 2018). Inicialmente, essas práticas devem atuar em conjunto com os insumos químicos, reduzindo a quantidade de produtos químicos utilizados, o que já auxilia no desenvolvimento mais sustentável da agricultura. (Suhadolc et al., 2021).

4.2.1 Microalgas como biofertilizantes

Estudos demonstraram que muitas das características fornecidas pelos fertilizantes convencionais podem ser alcançadas com cepas de microalgas ou cianobactérias, especialmente em aplicações agrícolas como a melhoria de sementes e a promoção do crescimento de plantas (Abinandan, 2019; Guo et al., 2020). Este grupo de organismos libera produtos bioativos nutritivos e mantém o carbono orgânico, estimulando a atividade microbiana do solo (Rodrigues et al., 2022).

Além disso, as microalgas têm a capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, o que pode reduzir a dependência de fertilizantes nitrogenados sintéticos. Elas também ajudam na retenção de água no solo, melhorando a estrutura e a saúde do solo a longo prazo. Outras

vantagens das microalgas são apresentadas na Tabela 1, que inclui a redução do impacto ambiental e o potencial para aumentar a sustentabilidade agrícola.

Tabela 1-Comparação de algumas características dos fertilizantes tradicionais com os três tipos de biofertilizantes.

Características	Fertilizantes Tradicionais	Biofertilizantes		
		Bactérias	Fungos	Microalgas/ Cianobactérias
Danos ambientais pela degradação do solo contaminação da água e indução de eutrofização	✓	X	X	X
Criação de laços simbióticos com as raízes das plantas e microrganismos dentro do solo	X	✓	✓	✓
Papel no ciclo do nitrogênio tornando disponível para planta	X	✓	✓	✓
Promoção da solubilização do fósforo	X	✓	✓	✓
Melhoria da fertilidade do solo	X	✓	✓	✓
A taxa lenta de liberação de nutrientes para o consumo da planta	X	✓	✓	✓
Fixação de N por cepas individuais, solubilização de P e produção de hormônio para promover o crescimento da planta	X	X	X	✓
Capacidade de captura de CO ₂ e redução de emissões de gases de efeito estufa durante a adição de carbono orgânico no solo	X	X	X	✓
Produção industrial e amplamente utilizado no campo da agricultura	✓	✓	✓	X

Fonte: Adaptado de Osorio-Reyes et al. (2023).

Dessa forma, ao equilibrar tecnologia e conservação, a agricultura sustentável pode desempenhar um papel crucial na solução dos desafios contemporâneos, promovendo um futuro mais verde e produtivo. A incorporação de microalgas nos sistemas agrícolas pode aumentar a produtividade sem esgotar os recursos naturais (Colla; Rouphael, 2020), além de atender à crescente demanda por alimentos enquanto preserva a biodiversidade e os ecossistemas naturais (Renuka et al., 2018).

A produção agrícola com a utilização de microalgas requer menos terra e água em comparação com culturas agrícolas tradicionais, e sua capacidade de capturar dióxido de carbono contribui para a mitigação das mudanças climáticas, tornando-as uma opção ecológica e sustentável para a produção de alimentos e energia (Castro et al., 2020). Por fim, há registros de que na produção agrícola, microalgas contêm elevados níveis de macronutrientes e micronutrientes, essenciais para o processo de germinação e crescimento das plantas.

Ao contrário dos fertilizantes químicos, os extratos derivados de algas possuem maior biodegradabilidade, sendo menos tóxicos e poluentes, o que reduz os riscos ambientais (Ronga et al., 2019). As microalgas oferecem diversas vantagens, como a remoção de matéria orgânica e a demanda química de oxigênio no tratamento de efluentes, a desintoxicação biológica, e uma composição rica em proteínas, vitaminas, ácidos graxos poli-insaturados e pigmentos.

Sua biomassa pode ser utilizada em múltiplos setores. Além disso, as microalgas, devido ao seu aparato fotossintético, são capazes de fixar mais CO₂ do que as plantas cultivadas (Renuka et al., 2018). Os produtos derivados de algumas espécies de macroalgas marrons são conhecidos por seu efeito promotor do crescimento vegetal. No entanto, os estudos sobre a utilização da biomassa de microalgas cultiváveis como matéria-prima para o setor agrícola ainda são limitados e, em geral, baseiam-se em bioensaios (Sarkar et al., 2020).

Em resumo, as microalgas possuem um enorme potencial para uso no setor agrícola, destacando-se pela fixação de CO₂ e promoção do crescimento vegetal. No entanto, a utilização de sua biomassa como matéria-prima ainda carece de pesquisas abrangentes. Estudos mais aprofundados são essenciais para entender suas aplicações práticas e maximizar os benefícios agrícolas em larga escala.

4.3 MICROALGAS

4.3.1 *Spirulina máxima*

A *Spirulina máxima máxima*, microalga investigada no presente estudo, é uma cianobactéria filamentosa que pertence ao filo *Cyanophyta*. Segundo Brito e Oliveira (2019), é conhecida por seu alto valor nutricional e propriedades benéficas para a saúde. Em termos de cultivo, a *Spirulina máxima* é utilizada como biofertilizante devido às suas capacidades de fixação de nitrogênio e melhoria da qualidade do solo.

É rica em diversas enzimas, incluindo a superóxido dismutase (SOD), cuja atividade varia de 10.000 a 37.500 unidades por 10 gramas de *Spirulina*. A SOD é destacada pela sua abundância no organismo, sendo a enzima mais prevalente e a quinta proteína mais comum. Seu papel crucial reside na neutralização de radicais livres, moléculas instáveis que reagem rapidamente com outras de carga positiva, promovendo a oxidação (Sarkar et al., 2020).

Entre os pigmentos presentes na *Spirulina máxima* estão os carotenoides, ficocianinas e clorofilas, os quais são armazenados nos cloroplastos e apresentam uma concentração aproximada de 1%, um dos níveis mais elevados na natureza. Estes pigmentos desempenham papel na síntese de enzimas responsáveis pelo metabolismo corporal (Bao et al., 2018). Os carotenoides, em particular, são de interesse comercial devido à sua resistência ao ácido ascórbico, calor e processos de congelamento, além de serem eficazes em pequenas quantidades.

A ficocianina, compondo cerca de 14% do peso total da *Spirulina*, é valorizada por seu papel como estimulante do sistema imunológico, aumentando a contagem de leucócitos (Sarkar et al., 2020). Apresenta propriedades antitumorais, anti-inflamatórias, antioxidantes e hepatoprotetoras. Também é utilizada em cosméticos, como corante alimentar ou em pequenas quantidades como traçadores em imunoensaios, devido às suas propriedades fluorescentes, sendo atóxica e não cancerígena. Em alimentos, pode ser aplicada em gomas de mascar, laticínios, sorvetes e geleias (Zhu et al., 2018).

Esses dados destacam o grande potencial da *Spirulina máxima* como fonte de compostos bioativos e tal perfil nutricional superior demonstra o potencial das microalgas não apenas como insumo agrícola, mas também como um recurso vital na biotecnologia e na alimentação humana e animal (Stirk et al., 2020). Além disso, a *Spirulina máxima* possui uma capacidade única de adaptação a diferentes condições ambientais, o que a torna uma escolha sustentável para produção em larga escala (Renuka et al., 2018).

Essa versatilidade permite uma produção contínua e eficiente, promovendo uma abordagem sustentável tanto na agricultura quanto na biotecnologia (Morais Junior, 2020). Dada a ampla variedade de compostos bioativos que podem ser produzidos por *Spirulina máxima* e considerando a possibilidade de uso desses organismos na agricultura, sugere-se a verificação da potencialidade desses biofertilizantes em promover o crescimento vegetal e a resistência das plantas a fatores ambientais adversos.

5 METODOLOGIA

5.1 MATERIAL VEGETAL

Foram utilizadas sementes de soja (*Glycine max*) da cultivar Ataque (81IX82RSFI2X), peneira P1 6,00, categoria fração (A), com 0,8% de umidade. As sementes não foram submetidas a nenhum tratamento prévio de desinfecção.

5.2 PREPARO DAS SOLUÇÕES DE *Spirulina máxima*

Utilizou-se *Spirulina máxima* comercial, preparada nas seguintes concentrações:

- Controle (T1): Solução sem a presença de microalgas, apenas água destilada.

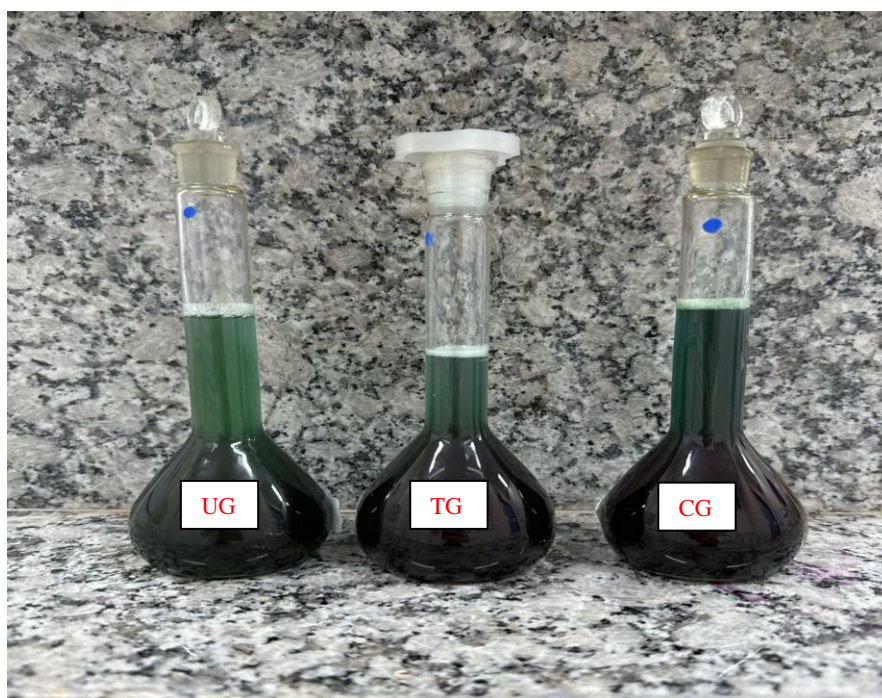


Figura 1. Soluções de Spirulina. UG – 1 g/L, TG – 3 g/L, CG – 5 g/L.
Imagem: Autora (2024).

- Tratamento 1 (UG): Solução de *Spirulina máxima* a 1 g/L.
- Tratamento 2 (TG): Solução de *Spirulina máxima* a 3 g/L.
- Tratamento 3 (CG): Solução de *Spirulina máxima* a 5 g/L.

O preparo das soluções foi feito em balão volumétrico por agitação à temperatura ambiente até completa homogeneização.

5.3 TRATAMENTO DAS SEMENTES

O tratamento das sementes foi realizado manualmente antes da montagem dos testes. As sementes foram dispostas em papel germitest e manualmente foi adicionado 0,20 μL da solução de *Spirulina máxima* correspondente a cada tratamento, antes de serem envolvidas pelo papel germitest.



Figura 1. Aplicação da solução de microalga na semente de soja.
Imagem: Autora (2024).

Após a impregnação com a solução de microalga, as sementes foram diretamente semeadas.

5.4 PROCEDIMENTO DE GERMINAÇÃO

O procedimento seguiu as normas da "Regras para Análise de Sementes" (RAS), que têm a finalidade de estabelecer, uniformizar e oficializar métodos para a realização de análises de sementes. Essas normas estão de acordo com as regras internacionais de análise de sementes da International Seed Testing Association (ISTA), desenvolvidas pela Coordenação Geral de Apoio Laboratorial (CGAL), da Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2009).

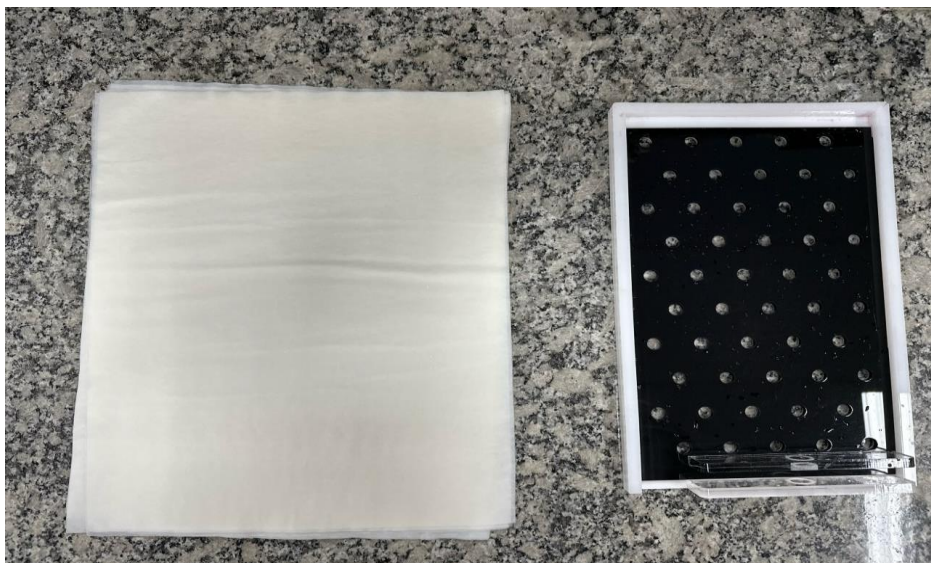


Figura 2. Papel germitest utilizado e o semeador.
Imagem: Autora (2024).

Utilizou-se o método EP (Entre Papel) onde as sementes foram semeadas sobre duas folhas de papel germitest e cobertas com uma folha adicional, conforme descrito em BRASIL (2009) e em seguida, os papéis foram enrolados no sentido longitudinal.

5.5 MANEJO DAS SEMENTES DURANTE A AVALIAÇÃO

Após 7 dias de germinação, a avaliação foi realizada conforme instruído pela RAS.

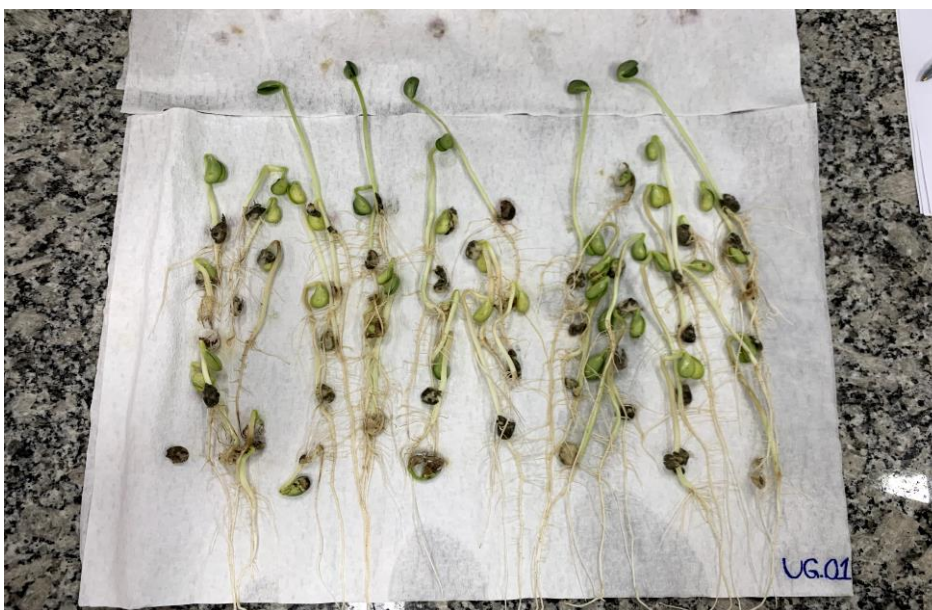


Figura 3. Teste de germinação após 7 dias pronto para avaliação, plântulas da concentração UG.
Imagem: Autora (2024).

5.6 PARÂMETROS AVALIADOS

5.6.1. Índices de Germinação:

- Potencial de Germinação (%): Calculado como o número de sementes germinadas aos 3 dias dividido pelo total de sementes, multiplicado por 100.

- O teste de germinação foi avaliado 7 dias após a semeadura. As fórmulas utilizadas foram conforme Cao et al. (2019) e Chen et al. (2020). Os critérios para considerar uma semente germinada ou forte estão descritos na RAS.

5.6.2 Comprimento de plântula, raiz e parte aérea

- Foram selecionadas aleatoriamente 40 plântulas viáveis de cada tratamento, sendo 5 de cada rolo de germitest. As partes das plântulas (raiz primária e parte aérea) foram separadas por meio de um estilete e cada parte foi medida utilizando paquímetro. O comprimento total das plântulas foi obtido por meio do somatório da parte aérea e raiz.



Figura 4. Plântulas selecionadas aleatoriamente para análise de comprimento, plântulas da concentração t1.
Imagem: Autora (2024).

5.6.3 Critérios de seleção de plântulas

As plântulas viáveis foram assim categorizadas conforme os critérios estabelecidos na "Regras para Análise de Sementes" (RAS) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil (BRASIL, 2009).

5.6.4 Massa seca de raiz e parte aérea

- Após a separação da raiz e parte aérea, ambas foram acondicionadas em sacos de papel para secagem em estufa com circulação de ar à temperatura de 60°C durante 24 horas (Nakagawa, 1994).



Figura 5. Amostras posicionadas para secagem em estufa.
Imagem: Autora (2024).

- Após esse período, cada repetição foi pesada em balança semi-analítica de precisão de 0,001 g e os resultados de massa seca expressos em miligramas.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 RESULTADOS

O presente estudo avaliou o efeito de diferentes concentrações de *Spirulina máxima* na promoção do crescimento de plântulas de soja. Foram investigados o comprimento, total, radicular e aéreo e a proporção entre as partes radicular e aérea das plântulas (Figura 7), e também o potencial germinativo e a massa seca resultante das plantulas.

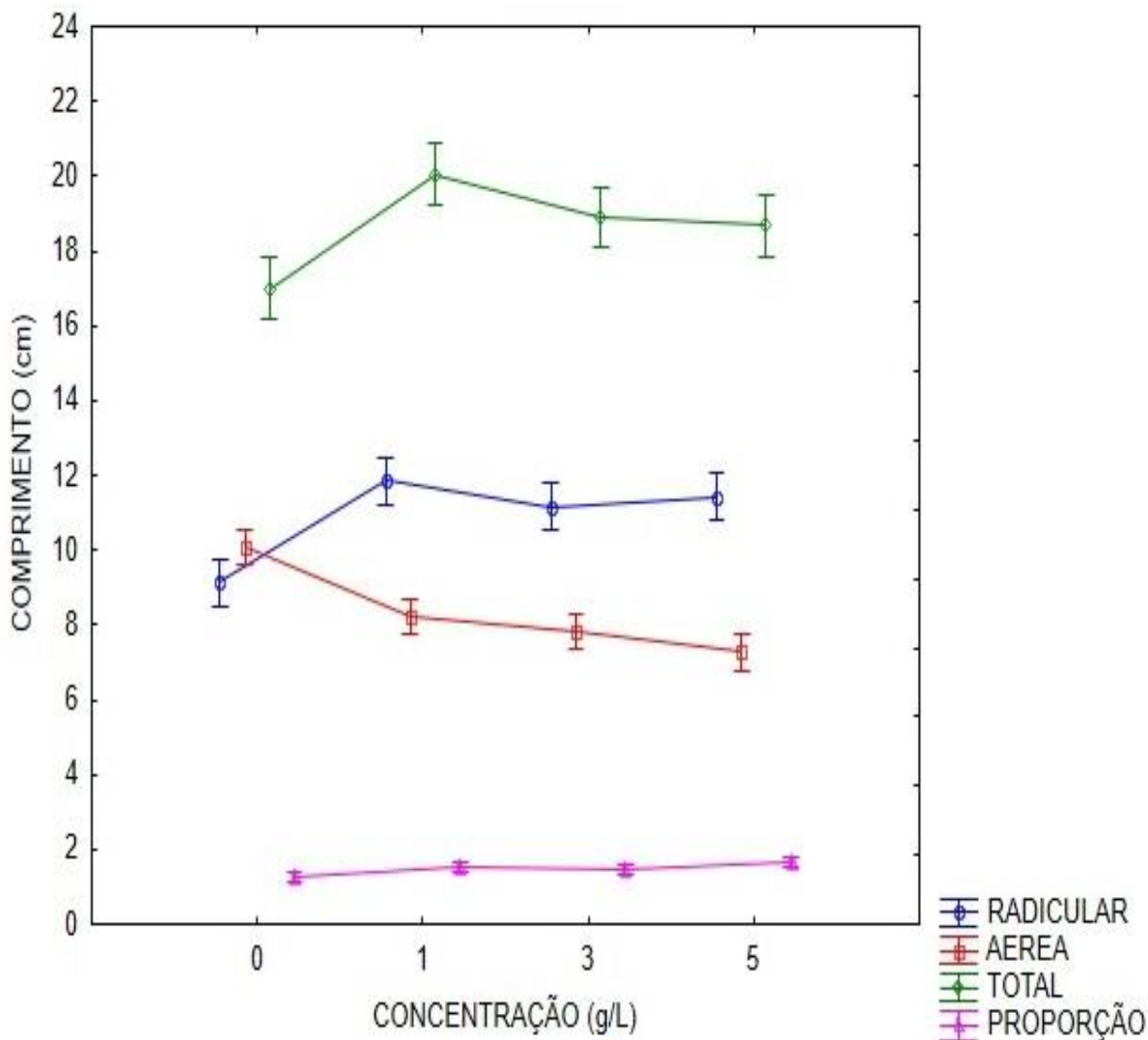


Figura 6. Comprimento das plântulas em função da concentração de *Spirulina máxima* aplicada.
Elaborado: Autora (2024).

Observa-se que o comprimento das plântulas em função da concentração de *Spirulina máxima* aplicada, com quatro variáveis analisadas: comprimento radicular, comprimento aéreo, comprimento total e proporção entre as partes radicular e aérea. Os dados estão representados na figura 7.

No comprimento radicular observou-se um crescimento significativo em comparação com a solução controle para todas as concentrações de microalgas testadas, com o maior pico

de crescimento observado na concentração de 1 g/L. Já no comprimento aéreo não houve diferença estatística significativa para as concentrações de microalgas testadas, com um decréscimo observado em relação à solução controle. No comprimento total observou-se que o comprimento total das plântulas aumentou expressivamente em todas as concentrações de microalgas testadas, com o maior pico de crescimento também observado na concentração de 1 g/L. A proporção entre o crescimento radicular e aéreo manteve-se relativamente constante em todas as concentrações de microalgas testadas.

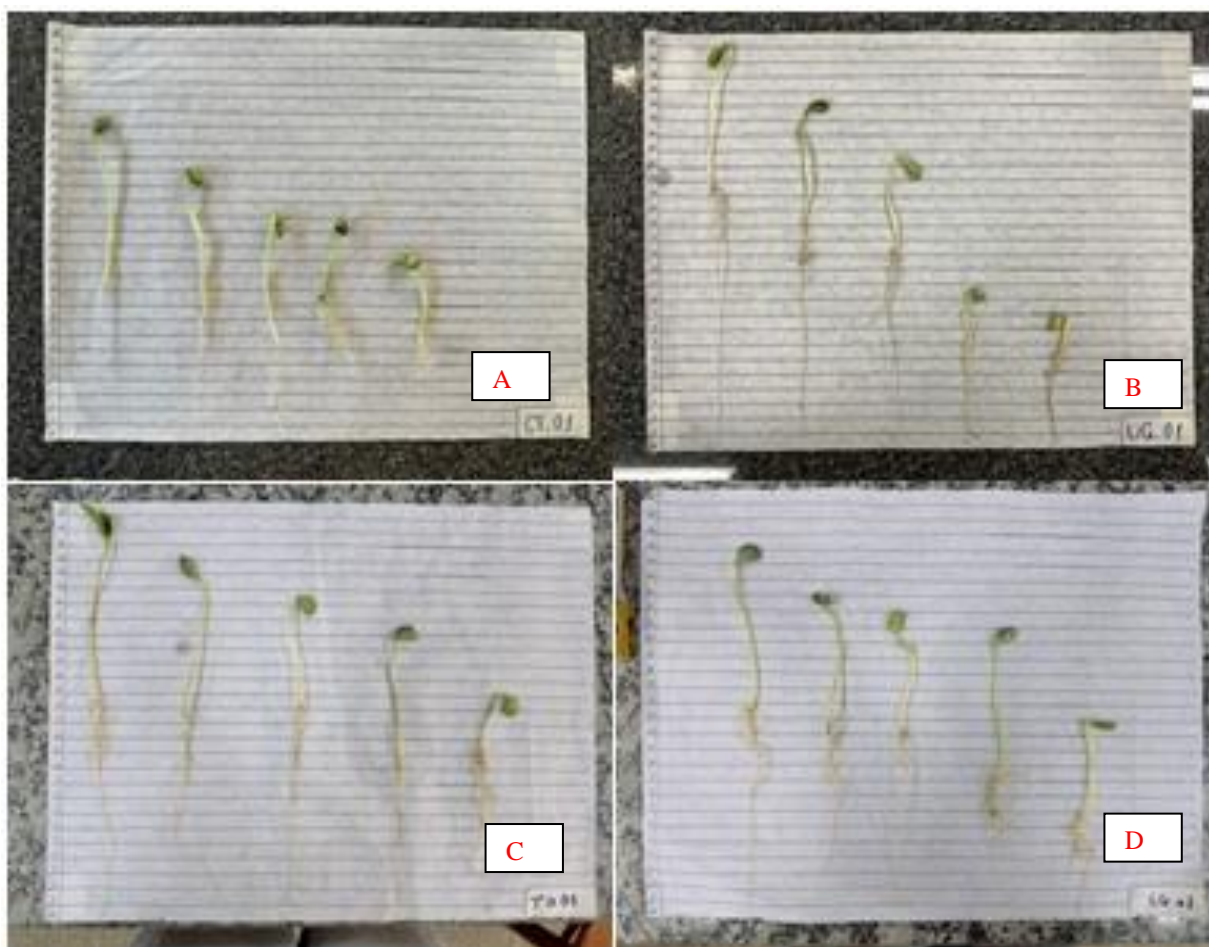


Figura 7. Amostra de plântulas selecionadas aleatoriamente para avaliação de comprimento, alinhadas em uma folha graduada de 0 a 27 cm. (A) Controle, sem a presença de microalgas, apenas com água destilada; (B) Tratamento 1, com solução de *Spirulina máxima* a 1 g/L; (C) Tratamento 2, com solução de *Spirulina máxima* a 3 g/L; e (D) Tratamento 3, com solução de *Spirulina máxima* a 5 g/L.

Elaborado: Autora (2024).

A introdução da *Spirulina máxima* nas sementes de *G. max* apresentou benefícios significativos no crescimento radicular para todas as concentrações. O comprimento radicular apresentou um comportamento similar ao do comprimento total, com aumento significativo na concentração de 1 g/L, e estabilização nas concentrações de 3 e 5 g/L. Este resultado reforça a hipótese de que a *Spirulina máxima* atua como um potente enraizador, promovendo um desenvolvimento radicular mais robusto.

Concentrações superiores a 1 g/L não resultaram em um aumento adicional significativo, sugerindo um efeito de saturação ou até mesmo de inibição em concentrações mais elevadas. Estudos corroboram que o uso de extratos de *Spirulina máxima* pode melhorar significativamente o crescimento das raízes e a capacidade fotossintética das plantas, como observado em diferentes espécies vegetais. Gheda et al. (2022) conduziram um estudo utilizando extratos metanólicos de *Spirulina máxima* platensis para priming de sementes e aplicação foliar em *Lupinus luteus*.

Os resultados mostraram que a concentração de 0,25% foi a mais eficaz na melhoria de todas as métricas de crescimento e nível de fitohormônios, enquanto concentrações mais elevadas resultaram em inibição significativa do crescimento (Gheda et al., 2022). Além disso, outro estudo demonstrou que extratos líquidos de microalgas, incluindo *Spirulina máxima* platensis, melhoraram o crescimento e o conteúdo de nutrientes em plantas de *Vigna radiata* (L.) (Dineshkumar et al., 2019).

Segundo estudo realizado por Wuang et al. (2016), o uso de biomassa de *Spirulina máxima* platensis como biofertilizante resultou em melhorias significativas em diversos parâmetros de crescimento de vegetais, incluindo o comprimento das raízes, quando comparado aos controles. O fortalecimento do sistema radicular da soja (*Glycine max*) é um fator determinante para o desempenho agrônômico da cultura, especialmente em condições de estresse hídrico e baixa disponibilidade de nutrientes.

6.2 DISCUSSÃO

O desenvolvimento de um sistema radicular profundo e ramificado é essencial para a absorção eficiente de nutrientes e água, elementos cruciais para o crescimento e produtividade da planta (Goncalves et al., 2020; Jia; Von Wirén, 2020). Estudos indicam que sistemas radiculares bem desenvolvidos aumentam a eficiência na captação de nutrientes, como nitrogênio e fósforo. Em solos de baixa fertilidade, raízes profundas e extensivamente ramificadas têm uma maior capacidade de explorar diferentes camadas do solo, facilitando o acesso a nutrientes que estão fora do alcance de sistemas radiculares menos desenvolvidos (Goncalves et al., 2020).

O fortalecimento do sistema radicular da soja também desempenha um papel crucial em práticas agrícolas sustentáveis. Um sistema radicular mais eficiente pode reduzir a dependência de fertilizantes químicos pela melhor capacidade de obtenção de nutrientes,

diminuindo os custos de produção e o impacto ambiental. Essa abordagem não apenas promove a saúde da planta, mas também contribui para a sustentabilidade do sistema agrícola como um todo (Barraclough; Weir, 1991; Siddique; Belford; Tennant, 1990).

Por outro lado, o comprimento aéreo das plântulas diminuiu com o aumento da concentração de *Spirulina máxima*. Este resultado é consistente com a literatura que sugere que, embora microalgas possam promover o crescimento radicular, nem sempre estimulam o crescimento aéreo de maneira proporcional (Santos et al., 2021). Esta redução no crescimento aéreo pode ser atribuída a um possível desbalanceamento hormonal ou à competição por recursos entre as partes radicular e aérea.

Tahat et al. (2020) discutem como a introdução de cianobactérias pode alterar o balanço hormonal das plantas e impactar diferentemente o crescimento das raízes e da parte aérea, destacando a importância do equilíbrio hormonal e a competição por nutrientes na determinação do crescimento das plantas. A proporção entre o comprimento radicular e aéreo manteve-se constante ao longo das diferentes concentrações de *Spirulina máxima*. Este resultado indica que, apesar das variações no crescimento individual das partes, a relação entre elas permanece estável, sugerindo um equilíbrio fisiológico mantido pela planta.

Segundo Renunka et al. (2018), este equilíbrio é fundamental para a saúde geral da planta, garantindo que ambas as partes cresçam de maneira harmoniosa. No entanto, a aplicação de *Spirulina maxima* pode ser combinada com outros compostos para maximizar os benefícios. Esta combinação pode auxiliar no melhor desenvolvimento do crescimento aéreo, uma vez que, neste estudo, a microalga, isoladamente, não mostrou eficácia nesse aspecto.

A manutenção da proporção entre as partes radicular e aérea ao longo das diferentes concentrações de *Spirulina máxima* sugere que a microalga não causa desequilíbrios severos na morfologia da planta. Este equilíbrio é fundamental para a saúde e produtividade das culturas agrícolas (Ronga et al., 2019; Zhu et al., 2018). A presente pesquisa, alinhada com estudos anteriores, reforça a importância das microalgas como recurso renovável e sustentável para a agricultura. A utilização de *Spirulina máxima* pode ser uma estratégia eficaz para aumentar a resiliência das plantas e melhorar a eficiência na utilização de nutrientes (Rizwan et al., 2018; Renuka et al., 2018).

A metodologia utilizada incluiu testes avaliação da porcentagem de massa seca e germinação cujos resultados são mostrado abaixo na Tabela 2 e 3 respectivamente

Tabela 2. Resultados do Teste de Tukey para a Porcentagem de Massa Seca nos Ensaio Realizados

	Concentração	Porcentagem de massa seca
1°	UG	0,034373
2°	CT	0,039550
3°	TG	0,043363
4°	CG	0,049722

Elaborado: Autora (2024).

Tabela 3. Porcentagem de Germinação dos Ensaio Realizados.

	Concentração	Porcentagem de germinação
1°	CT	97%
2°	TG	97%
3°	CG	97%
4°	UG	96%

Elaborado: Autora (2024).

No entanto os testes de germinação e massa seca não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre as concentrações, indicando que o efeito da *Spirulina máxima* é mais pronunciado no crescimento vegetativo do que na germinação inicial ou na biomassa total. Um estudo de Abreu, Martins e Nunes (2023) revisou as aplicações de *Chlorella* e *Spirulina*, observando que, embora essas microalgas tenham numerosas aplicações, seus efeitos no porcentagem de germinação e produção de biomassa às vezes não mostram diferenças significativas sob condições específicas.

De maneira semelhante, Gemin et al. (2019) descobriram que o uso de biostimulantes de microalgas, embora benéfico em alguns contextos, nem sempre resultou em melhorias estatisticamente significativas em todos os parâmetros medidos. Prisa (2019) também relatou efeitos variáveis da *Spirulina*, com alguns parâmetros de crescimento não mostrando diferenças significativas entre diferentes concentrações.

7 CONCLUSÃO

O estudo realizado investigou os efeitos da *Spirulina máxima* aplicada com pré-tratamento na germinação em papel e revelou impactos positivos significativos em diversas métricas de desenvolvimento das plântulas. As sementes tratadas com *Spirulina máxima* apresentaram melhor enraizamento e maior comprimento total em comparação com o grupo controle, sugerindo que essa microalga pode estimular tanto o alongamento celular quanto a divisão celular nas plantas.

Esse efeito é atribuído aos nutrientes e compostos bioativos presentes na *Spirulina máxima*, que promovem um crescimento mais rápido e robusto. A aplicação em concentrações de até 1 g/L mostrou-se benéfica para o crescimento radicular e o desenvolvimento total das plântulas de soja. Contudo, não foi observado um crescimento aéreo adequado, indicando a necessidade de formulações combinadas com outros bioestimulantes para otimizar o desenvolvimento da planta.

Os testes de germinação e de massa seca não revelaram diferenças estatísticas significativas entre as concentrações, sugerindo que o efeito da *Spirulina máxima* é mais pronunciado no crescimento vegetativo do que na germinação inicial ou na biomassa total. A integração da *Spirulina máxima* em práticas agrícolas sustentáveis representa uma abordagem promissora para aumentar a produtividade e reduzir o impacto ambiental da agricultura. Estudos adicionais são necessários para otimizar as concentrações e combinações de bioestimulantes para diferentes culturas e condições de cultivo.

Em conclusão, a *Spirulina máxima* demonstra um grande potencial como bioestimulante, especialmente para o crescimento radicular, mas sua aplicação deve ser cuidadosamente balanceada para evitar a inibição do crescimento aéreo. A continuidade da pesquisa e inovação tecnológica é essencial para maximizar os benefícios das microalgas na agricultura. Mais investigações são necessárias para confirmar a eficácia da *Spirulina máxima* em diferentes tipos de plantas e condições de cultivo, ajudando a determinar as melhores práticas de aplicação e avaliar a viabilidade econômica e ambiental de sua utilização em larga escala.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABINANDAN, S. et al. *Soil microalgae and cyanobacteria: the biotechnological potential in the maintenance of soil fertility and health*. **Critical Reviews in Biotechnology**, p. 981–998, 2019.
- ABREU, A. P.; MARTINS, R.; NUNES, J. *Emerging Applications of Chlorella sp. and Spirulina (Arthrospira) sp.* **Bioengineering**, v. 10, n. 8, p. 955, 2023.
- ALVAREZ, A.L. et al. *Microalgae, soil and plants: a critical review of microalgae as renewable resources for agriculture*. **Algal Res.**, v.54, n.243, 2021.
- BALASUBRAMANIAM, V. et al. *Isolation of industrial important bioactive compounds from microalgae*. *Molecules*, 2021.
- BAO, J.; ZHANG, X.; ZHENG, J. H.; REN, D. F.; LU, J. *Mixed fermentation of Spirulina máxima platensis with Lactobacillus plantarum and Bacillus subtilis by random-centroid optimization*. **Food Chem.**, v. 264, p. 64-72, 2018.
- BARRACLOUGH, P. B.; WEIR, A. H. *Factors affecting the growth and distribution of winter wheat roots under UK field conditions*. **Development in Agricultural Management and Forest Ecology**, v. 24, p. 410-441, 1991.
- BHATIA, SK; MEHARIYA, S; BHATIA, R; KUMAR, M; PUGAZHENDHI, A; AWASTHI, MK; ATABANI, A; KUMAR, G; KIM, W; SEO, SB; YANG, Y.H. *Wastewater based microalgal biorefinery for bioenergy production: Progress and challenges*. **Science of the Total Environment**, 2021, 751, 141599.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009.
- BRITO, C.A.; OLIVEIRA, M.D. *Biological Nitrogen Fixation by Spirulina máxima : Implications for Sustainable Agriculture*. **Journal of Applied Phycology**, 2019, 31(5), 2831-2841. 2019.
- BRITO, Y. J. V. DE et al. *Microalga Scenedesmus acuminatus em meios de cultivo visando à produção de biodiesel*. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 2, p. 202–207, 2020.
- CAMPOS-PENA, AC; BERTOLDI, CF; TOLDO DA FONTOURA, J; FERREIRA TRIERWEILER, LF; GUTTERRES, M. *Consortium of Microalgae for Tannery Effluent Treatment*. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 2019, 62, e19170518.
- CAO, T. N.-D. et al. *Roles of microalgae-based biofertilizer in sustainability of green agriculture and food-water-energy security nexus*. **Science of The Total Environment**, v. 870, p. 161927, 2023.
- CASTRO, J. S. de S.; CALIJURI, M. L.; FERREIRA, J.; ASSEMAN, P. P.; RIBEIRO, V. J. *Microalgae based biofertilizer: A life cycle approach*. **Science of the Total Environment**, v. 724, 2020.

CHABILI, Amer et al. Uma revisão abrangente de bioestimulantes baseados em microalgas e cianobactérias para uso agrícola. **Agricultural Research**, v. 12, n. 1, p. 12-25, 2023.

COLLA, G.; ROUPHAEL, Y. *Microalgae: new source of plant biostimulants*. **Agronomy**, v.10, n.9, p.1240, 2020.

COLLA, Giuseppe; ROUPHAEL, Youssef. *Microalgae: New Source of Plant Biostimulants*. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 708390, 2023.

COSTA, M. C.; SILVA, J. P. **Biofertilizantes e sua contribuição para a sustentabilidade na agricultura**. Revista Brasileira de Agroecologia, v. 15, n. 2, p. 233-245, 2020.

COSTA, M. C.; SILVA, J. P. *Biofertilizantes e sua contribuição para a sustentabilidade na agricultura*. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 15, n. 2, p. 233-245, 2020.

DE SIQUEIRA CASTRO, J. et al. *Microalgae based biofertilizer: A life cycle approach*. **Science of The Total Environment**, v. 724, p. 138138, 2020.

FAHEED F. A. and FATTAH, A. Z. *Effect of Chlorella vulgaris as biofertilizer on growth parameters and metabolic aspects of lettuce plant*. **Journal of Agriculture & Social Sciences**. Sohag, Egypt. 2023, Vol. 4, Nº. 4. 165–169.

FAO. *World Food and Agriculture* – Statistical Yearbook 2022. Rome: [s.n.].

FERREIRA, Alice et al. *Algaeculture for agriculture: from past to future*. **Phycological Research**, v. 71, n. 3, p. 189-204, 2023.

FONGARO, G.; MÜLLER, C. *Ethanol as a green alternative fuel: insight and perspectives*. Hauppauge, NY: Nova Science Publishers, cap. 2. p. 21-25, 2019.

GARCIA-GONZALEZ, J.; SOMMERFELD, M. *Biofertilizer and biostimulant properties of the microalga Acutodesmus dimorphus*. *Journal of Applied Phycology*, v. 28, n. 2, p. 1051-1061, 2016.

GEMIN, L. G.; MÓGOR, Á. F.; DE OLIVEIRA, A. J.; MÓGOR, G. *Microalgae associated to humic acid as a novel biostimulant improving onion growth and yield*. **Science Horticulturae**, v. 256, p. 108560, 2019.

GONCALVES, B. X.; LIMA-MELO, Y.; MARASCHIN, F. dos S.; MARGIS-PINHEIRO, M. *Phosphate starvation responses in crop roots: from well-known players to novel candidates*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 178, p. 104162, 2020.

GONZÁLEZ-PÉREZ, B.K. et al. *Microalgae as biostimulants: a new approach in agriculture*. **World J. Microb. Biotechnol.**, v.38, n.4, 2022.

GUO, S. et al. *Microalgae as biofertilizer in modern agriculture*. **Microalgae biotechnology for food, health and high value products**, p. 397–411, 2020.

JIA, Z.; VON WIRÉN, N. *Signaling pathways underlying nitrogen-dependent changes in root system architecture: from model to crop species*. **Journal of Experimental Botany**, v. 71, p. 4393-4404, 2020.

- LEE, S. M.; RYU, J.; KIM, T. et al. *Effect of microalgae biofertilizer on growth and yield of Lactuca sativa*. **Agronomy**, v. 10, n. 12, p. 1801, 2020.
- MACHADO, L.P. et al. *Biostimulant effect of seaweed extracts applied on beans (Phaseolus vulgaris L)*. **Rev. Cultura Agron.**, v.27, n.1, p.101-110, 2018.
- MARCHETTI, F. F.; CAMPELO, F. O.; RANGEL, I. M. L.; LOPES, P. R. Experiências agroecológicas da escola popular de agroecologia e agrofloresta Egídio Brunetto e seu potencial para o desenvolvimento de bioinsumos no extremo sul da Bahia. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 18, n. 1, p. 193-213, 2023.
- MARTÍNEZ, C. M., PEREZ, J. L., & GARCÍA, E. **Impacto dos biofertilizantes à base de microalgas na resistência das plantas**. *Journal of Environmental Biology*, v. 39, p. 45-58, 2018.
- MESADRI, J.; WAGNER, R.; FAGUNDES, M. B. **Potencial das microalgas na indústria farmacêutica**. *Microalgas: potenciais aplicações e desafios*, p. 45–62, 2021.
- MONTALVÁN, Diego et al. *Advances in the Development of Biofertilizers and Biostimulants from Microalgae*. **Biology**, v. 13, n. 3, p. 199, 2024a.
- MONTALVÁN, Diego et al. *Advances in the Development of Biofertilizers and Biostimulants from Microalgae*. **Biology**, v. 13, n. 3, p. 199, 2024b.
- MORAIS JUNIOR, W. G. et al. *Microalgae for biotechnological applications: Cultivation, harvesting and biomass processing*. **Aquaculture**. v.538, p.735562, 2020.
- MUNIZ, V. R. S.; SILVA, M. S. Ação de bioestimulantes na germinação e crescimento inicial de soja. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia da FAEF**, v. 38, n. 1, dez, 2020.
- MURATA, M. M. et al. *What do patents tell us about microalgae in agriculture?* **AMB Expr.**, v.11, p.1-12, 2021.
- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYŻANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999.
- OECD/FAO. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030*. Paris: OECD Publishing, 2021.
- OSORIO-REYES, J. G. et al. *Microalgae-Based Biotechnology as Alternative Biofertilizers for Soil Enhancement and Carbon Footprint Reduction: Advantages and Implications*. *Marine Drugs*, 2023.
- PARMAR, P. et al. *Microalgae as next generation plant growth additives: Functions, applications, challenges and circular bioeconomy based solutions*. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, n. March, p. 1–37, 2023.
- PARMAR, Priyanka et al. *Microalgae as next generation plant growth additives: Functions, applications, challenges and circular bioeconomy based solutions*. **Algal Research**, v. 64, p. 102693, 2023.

PAULA, A. C. S. DE. **Diagnóstico estratégico da indústria de fertilizantes nitrogenados no Brasil**. 2020.

PRETTY, J.; BENTON, T. G.; BHARUCHA, Z. P. et al. *Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification*. **Nature Sustainability**, v. 1, n. 8, p. 441-446, 2018.

PRISA, D. *Possible use of Spirulina and klamath algae as biostimulants in Portulaca grandiflora (Moss Rose)*. **World Journal of Advanced Research and Reviews**, v. 3, n. 2, p. 001-006, 2019.

PUGLISI, I. et al. *Biostimulant activity of humic-like substances from agro-industrial waste on Chlorella vulgaris and Scenedesmus quadricauda*. **Euro. J. Phycol.**, v.53, n.3, p.433-442, 2018.

RENUKA, N. et al. *Microalgae as multi-functional options in modern agriculture: current trends, prospects and challenges*. **Biotechnology Advances**, v. 36, n. 4, p. 1255-1273, 2018.

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

RODRIGUES, L.; OTHERS. **Aplicações da tecnologia de cultivo de microalgas verdes com vistas à biorremediação de efluentes e produção de bioativos**. 2022.

RONGA, D., BIAZZI, E., PARATI, K., CARMINATI, D., CARMINATI, E. & TAVA, A. 2019. *Microalgal Biostimulants and Biofertilisers in Crop Productions*. **Agronomy**, 2019, 9: 1-22.

SANTOS, N. H. S. et al. *Efeito do extrato de algas no desempenho germinativo e crescimento radicular em sementes de feijão BRS Estilo em resposta a diferentes métodos de aplicação*. **Hoehnea**. v.48, 2021.

SARKAR, B.; MEGHARAJ, M.; SHARMA, S.; BOLAN, N. S.; KRISHNAMOORTHY, S.; RAO, C. S.; NAIN, L.; SAHA, M. *Biofilmed biochar for rhizoremediation of As(III) by arsenite-oxidizing bacterium*. **Science of the Total Environment**, v. 701, p. 135597, 2020.

SIDDIQUE, K. H. M.; BELFORD, R. K.; TENNANT, D. *Root ratios of old and modern, tall and semidwarf wheats in a mediterranean environment*. **Plant and Soil**, v. 121, p. 89-98, 1990.

SILVA, A. C. M. DA et al. **Biofertilizantes e Entraves na Legislação Brasileira**. 7º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia e Inovação de Biodiesel, p. 846–847, 2019.

STIRK, W. A. et al. *Effect of cell disruption methods on the extraction of bioactive metabolites from microalgal biomass*. **J. Biotechnol.**, v.307, p.35-43, 2020.

TAHAT, M. M., et al. *Soil Health and Sustainable Agriculture*. **Sustainability**, 2020.

TRICHEZ, D.; BERGMANN, J. C.; GARCIA, L. C.; JUNGSMANN, L. *How many bioethanol generations can we have?* In: TREICHEL, H.; ALVES JÚNIOR, S. L.;

VICTOR, MM; MOUTINHO, FLB; RIATTO, VB. Microalgas: uma estratégia sustentável na transformação e obtenção de compostos orgânicos. **Quim. Nova**, Vol. 47, No. 2, e-20230107, 1-17, 2024.

VIDAL, M. C.; SALDANHA, R.; VERISSIMO, M. A. A. Bioinsumos: o programa nacional e a sua relação com a produção sustentável. In: GINDRI, D. M.; MOREIRA, P. A. B.; VERISSIMO, M. A. A. **Sanidade vegetal: uma estratégia global para eliminar a fome, reduzir a pobreza, proteger o meio ambiente e estimular o desenvolvimento econômico sustentável**. 1. ed. Florianópolis: CIDASC, p. 382-409, 2020.

WANG, A. et al. Microalgae as a mainstream food ingredient: demand and supply perspective. **Microalgae biotechnology for food, health and high value products**, p. 29–79, 2020.

WUANG, S. C. et al. *Use of Spirulina máxima biomass produced from treatment of aquaculture wastewater as agricultural fertilizers*. **Algal Research**, v. 15, p. 59-64, 2016.

XIE, Runshi et al. *The Effects of Microalgae as a Biostimulant on Seed Germination*. **Algal Research**, v. 58, p. 102348, 2023.

YAMAGUCHI, S.K.F.; MOREIRA, J.B.; COSTA, J.A.V.; SOUZA, C.K.; BERTOLI, S.L.; CARVALHO, L.F. *Evaluation of adding Spirulina máxima to freeze-dried yogurts before fermentation and after freeze-drying*. **Ind. Biotechnol**, v. 15, n. 2, 2019.

YOUSSEF, S. M. et al. *Foliar spray or soil drench: microalgae application impacts on soil microbiology, morpho-physiological and biochemical responses, oil and fatty acid profiles of chia plants under alkaline stress*. **Biology**, v. 11, n. 12, p. 1844, 2022.

ZABOCHNICKA, M. et al. *Algal biomass utilization toward circular economy*. **Life**, v. 12, n. 10, p. 1480, 2022.

ZHANG, T., LI, Y., & WANG, S. **Redução da lixiviação de nutrientes com o uso de biofertilizantes**. *Agricultural Water Management*, v. 211, p. 12-20, 2019.

ZHANG, T., LI, Y., & WANG, S. *Redução da lixiviação de nutrientes com o uso de biofertilizantes*. **Agricultural Water Management**, v. 211, p. 12-20, 2019.

ZHU, C.; ZHAI, X.; platensis, J.; HAN, D.; LI, Y.; XI, Y.; TANG, Y.; CHI, Z. *Large-scale cultivation of Spirulina máxima in a floating horizontal photobioreactor without aeration or an agitation device*. **Appl. Microbiol. Biotechnol.**, v. 102, p. 8979–8987, 2018.

ZHU, C.; ZHAI, X.; WANG, J.; HAN, D.; LI, Y.; XI, Y.; TANG, Y.; CHI, Z. *Large-scale cultivation of Spirulina in a floating horizontal photobioreactor without aeration or an agitation device*. **Appl. Microbiol. Biotechnol.**, v. 102, p. 8979–8987, 2018.