



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

VITÓRIA COSTA DIAS

**PROSPECÇÃO DE SUBSTRATOS ALTERNATIVOS COM
Chlorella sp. COMO BIOESTIMULANTE PARA PRODUÇÃO
DE MUDAS DE TOMATEIRO**

JOÃO PESSOA
2024

VITÓRIA COSTA DIAS

**PROSPECÇÃO DE SUBSTRATOS ALTERNATIVOS COM
Chlorella sp. COMO BIOESTIMULANTE PARA PRODUÇÃO DE
MUDAS DE TOMATEIRO**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Biológicas (Trabalho Acadêmico de conclusão de Curso), como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Ciências Biológicas da Universidade Federal da Paraíba.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Rocha Rodrigues Alves

JOÃO PESSOA

2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

D541p Dias, Vitoria Costa.

Prospecção de substratos alternativos com Chlorella
sp. como bioestimulante para produção de mudas de
tomateiro / Vitoria Costa Dias. - João Pessoa, 2024.
38 p. : Il.

Orientação: Frederico Rocha Rodrigues Alves.

TCC (Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas) -
UFPB/CCEN.

1. Microalgas. 2. Agricultura. 3. Solanum
lycopersicum L. 4. Tomateiros. I. Alves, Frederico
Rocha Rodrigues. II. Título.

UFPB/CCEN

CDU 57(043.2)

VITÓRIA COSTA DIAS

**PROSPECÇÃO DE SUBSTRATOS ALTERNATIVOS COM
Chlorella sp. COMO BIOESTIMULANTE PARA PRODUÇÃO DE
MUDAS DE TOMATEIRO**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Biológicas (Trabalho Acadêmico de conclusão de Curso), como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Ciências Biológicas da Universidade Federal da Paraíba.

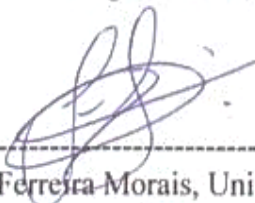
Data: 21/10/2024

Resultado: **APROVADA**

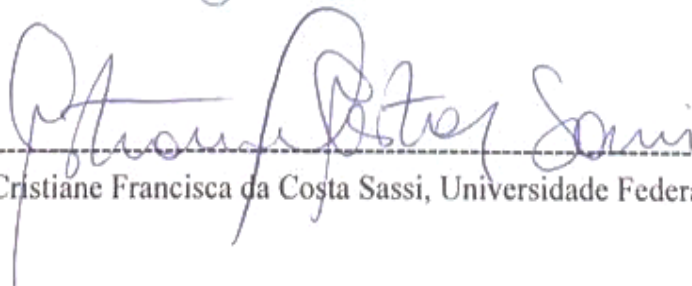
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Frederico Rocha Rodrigues Alves, Universidade Federal da Paraíba



Prof. Dr. Fernando Ferreira-Morais, Universidade Federal da Paraíba



Prof. Dra. Cristiane Francisca da Costa Sassi, Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Rubens Teixeira de Queiroz, Universidade Federal da Paraíba

AGRADECIMENTOS

Ao completar quatro anos de graduação na UFPB, vejo um filme na minha mente. Este trabalho representa uma etapa única que levarei comigo para sempre. Foi um período de amadurecimento, aprendizado e grande crescimento pessoal. Se eu pudesse definir essa jornada em uma palavra, seria “descobrimento”, pois ao longo do caminho descobri capacidades que até então desconhecia em mim mesma e ideias de consciências que transmitem as verdades universais. A UFPB é um verdadeiro berçário de sonhos, onde idealizações e descobertas se entrelaçam. A ciência, em particular, me ofereceu a oportunidade de enxergar os mecanismos da vida por um ângulo que poucas pessoas têm o privilégio de perceber. Embora não tenha sido uma trajetória fácil, cada aula, projeto e vivência em grupo me mostraram o quanto o intercâmbio de conhecimentos e experiências nos enriquece. Mais do que isso, reforçaram que esse aprendizado deve ser aplicado para além de nós mesmos. Hoje, o sentimento é de dever cumprido e orgulho por não ter desistido, mesmo diante de tantos desafios. Ao longo do curso, mergulhei em áreas diversas, e esse processo me fez admirar profundamente a criação e a transformação da energia em vida, em diversidade. Mesmo nas adversidades, a lei do progresso se manifesta. Sinto-me parte de uma engrenagem em constante evolução, onde cada um de nós coopera e cresce, adquirindo mais consciência a cada passo. Por isso, agradeço a todos os professores que compartilharam suas perspectivas e anos de estudo. Espero sempre honrar esse conhecimento, convertendo-o em bons frutos. Aos meus pais, pelo exemplo moral e dedicação sem medidas; ao meu irmão, pelo apoio genuíno; e ao meu namorado, por tanto que fez e faz por mim ao longo desses anos, os meus sinceros agradecimentos. Não menos importante o meu gato Pink, adotado nesse período, parceiro fiel de tantas noites de estudos. Agradeço quem lá no início me pegou pela mão transferindo tanto, Sra Dra. Cristiane Sassi, um exemplo de superação, ao professor Roberto Sassi, um paizão para todos dos LARBIM sempre nos apoiando como cientistas. Ao cabeça desse trabalho, o professor Fernando Ferreira, o professor que me conquistou pelo coração bondoso e humano. O professor mais inspirado que conheço, Rubens Queiroz que me permitiu muitos insights. E, não menos importante ao professor amigo, Frederico Rocha que ganhou meu coração em silêncio, me conheceu nos dias bons e ruins, aguentou o ritmo frenético da minha mente, me apoiou e alertou sem nunca medir esforços para me ajudar, encontrá-lo no final desta formação sem dúvida foi um presente. Desejo o melhor para cada um. Encerro esta jornada em 2024, com muito mais consciência do que quando a iniciei em 2019, tenho certeza de que sou mais capaz do que jamais imaginei, e descobrir isso só foi possível graças a vocês.

RESUMO

A elaboração e o desenvolvimento de mudas de tomateiro geralmente dependem de substratos comerciais, que, apesar de sua eficácia, apresentam custos elevados, comprometendo o rendimento do agricultor. Para reduzir esses custos, mantendo a qualidade da produção, a adoção de substratos alternativos tem se mostrado uma solução viável. Esses substratos não apenas são sustentáveis, alinhando-se aos princípios agroecológicos, mas também utilizam resíduos agrícolas para garantir a saúde das mudas, desde que apresentem as propriedades físicas, biológicas e químicas necessárias ao desenvolvimento das plantas. Dada a ausência de uma formulação universalmente válida para todas as espécies, é essencial avaliar diferentes composições que se ajustem aos materiais disponíveis nas regiões de cultivo. Os bioestimulantes, que geralmente derivam da decomposição de resíduos de dejetos de animais e restos de hortaliças, são componentes essenciais que favorecem o crescimento das plantas. Nos últimos anos, as microalgas têm sido reconhecidas como promissoras no mercado de bioestimulantes, atuando como promotores de crescimento ao sintetizar compostos como fitohormônios, vitaminas, terpenóides, flavonóides, ácidos graxos e polissacarídeos, os quais demonstram efeitos benéficos na emergência, desenvolvimento e produtividade das culturas. Este trabalho tem como objetivo validar um substrato alternativo com a aplicação de microalgas, avaliando o desenvolvimento inicial de tomateiros (*Solanum lycopersicum* L.) em diferentes substratos, que incluem capim Napier, fibra de coco, esterco bovino e compostagem de hortifrúti, com e sem a adição de biomassa liofilizada da microalga *Chlorella* sp., utilizando uma concentração de 5g/kg por substrato por meio de encharcamento do solo. Os resultados indicaram que o tratamento com substrato comercial, que incluiu a aplicação de *Chlorella* sp., apresentou os melhores desempenhos em várias métricas: o maior percentual de emergência, altura da plântula, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz e diâmetro do caule. Esses dados evidenciam o potencial bioestimulante da microalga sob as condições experimentais para o cultivo de tomateiros. Em contrapartida, os substratos alternativos mostraram desempenho comprometido, principalmente devido ao pH alcalino, o que sugere a necessidade de ajustes nas formulações para otimizar o desenvolvimento das mudas.

Palavras-chave: Microalgas; Agricultura; *Solanum lycopersicum* L.

ABSTRACT

The preparation and development of tomato seedlings generally rely on commercial substrates, which, despite their effectiveness, have high costs that compromise the farmer's yield. To reduce these costs while maintaining production quality, the adoption of alternative substrates has proven to be a viable solution. These substrates are not only sustainable, aligning with agroecological principles, but also utilize agricultural waste to ensure seedling health, provided they exhibit the necessary physical, biological, and chemical properties for plant development. Given the absence of a universally valid formulation for all species, it is essential to evaluate different compositions that fit the materials available in the growing regions. Bio-stimulants, which usually derive from the decomposition of animal waste and vegetable scraps, are essential components that promote plant growth. In recent years, microalgae have been recognized as promising in the biostimulant market, acting as growth promoters by synthesizing compounds such as phytohormones, vitamins, terpenoids, flavonoids, fatty acids, and polysaccharides, which demonstrate beneficial effects on the emergence, development, and productivity of crops. This study aims to validate an alternative substrate with the application of microalgae, evaluating the initial development of tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) in different substrates, which include Napier grass, coconut fiber, bovine manure, and horticultural compost, with and without the addition of freeze-dried biomass of the microalga *Chlorella* sp., using a concentration of 5g/kg per substrate through soil soaking. The results indicated that the treatment with the commercial substrate, which included the application of *Chlorella* sp., showed the best performances in various metrics: the highest percentage of emergence, seedling height, dry mass of the aerial part, dry mass of the root, and stem diameter. These data highlight the bio-stimulant potential of the microalga under experimental conditions for tomato cultivation. In contrast, the alternative substrates showed compromised performance, mainly due to the alkaline pH, suggesting the need for adjustments in formulations to optimize seedling development.

Keywords: Microalgae; Agriculture; *Solanum lycopersicum* L.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Microalga unicelular do gênero <i>Chlorella</i> . Fonte: LARBIM/UFPB.....	20
Figura 2 - Biomassa de <i>Chlorella</i> sp. liofilizada para composição dos substratos alternativos.	23
Figura 3 - Plântulas de 15 dias de microtomateiros cultivadas em diferentes substratos agroecológicos alternativos. Da esquerda para a direita: T1, substrato comercial, T2, areia + fibra de coco + capim napier + esterco, T3, areia + fibra de coco + capim napier + compostagem, T4, substrato comercial + <i>Chlorella</i> sp. 5 g/kg, T5, areia + fibra de coco + capim napier + esterco + <i>Chlorella</i> sp. 5 g/kg e T6, areia + fibra de coco + capim napier + compostagem + <i>Chlorella</i> sp. 5g/kg.....	25
Figura 4 - Desenho experimental da disposição dos tratamentos (diferentes substratos agroecológicos formulados). T1, Substrato Comercial, T2, areia + fibra de coco + capim napier + esterco, T3, areia + fibra de coco + capim napier + compostagem, T4, substrato comercial + <i>Chlorella</i> sp. 5 g/kg, T5, areia + fibra de coco + capim napier + esterco + <i>Chlorella</i> sp. 5 g/kg e T6, areia + fibra de coco + capim napier + compostagem + <i>Chlorella</i> sp. 5g/kg.....	25
Figura 5 - Percentual de emergência e índice de velocidade de emergência de plântulas de tomateiro analisadas para os diferentes substratos. (A) Porcentagem de emergência; (B) Índice de velocidade de emergência. Os dados estão representados em boxplots, onde as caixas correspondem ao intervalo interquartil e as extremidades das barras, aos valores máximos e mínimos. Letras diferentes significam diferenças estatísticas de acordo com o teste de Tukey. T1, substrato comercial, T2, areia + fibra de coco + capim napier + esterco, T3, areia + fibra de coco + capim napier + compostagem, T4, substrato comercial + <i>Chlorella</i> sp. 5 g/kg, T5, areia + fibra de coco + capim napier + esterco + <i>Chlorella</i> sp. 5 g/kg e T6, areia + fibra de coco + capim napier + compostagem + <i>Chlorella</i> sp. 5g/kg.....	27
Figura 6 - Variáveis de crescimento de plântulas de tomateiro analisadas para os diferentes substratos. (A) Altura, (B) Diâmetro do caule, (C) Massa seca parte aérea, (D) Massa seca das raízes. Letras diferentes significam diferenças estatísticas de acordo com o teste de Tukey. T1, substrato comercial, T2, areia + fibra de coco + capim napier + esterco, T3, areia + fibra de coco + capim napier + compostagem, T4, substrato comercial + <i>Chlorella</i> sp. 5 g/kg, T5, areia + fibra de coco + capim napier + esterco + <i>Chlorella</i> sp. 5 g/kg e T6, areia + fibra de coco + capim napier + compostagem + <i>Chlorella</i> sp. 5g/kg.....	29

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Atributos físico-químicos dos substratos alternativos formulados para produção de mudas de <i>Solanum lycopersicum</i> L. Condutividade elétrica (C.E); potencial hídrico (pH), capacidade de troca de cátions (CTC); Fósforo assimilável (P), Potássio trocável (K ⁺), Alumínio trocável (Al ³⁺), Sódio trocável (Na ⁺), Cálcio trocável (Ca), Somatório de bases (SB), Acidez potencial (H ⁺ + Al ³⁺), Magnésio trocável (Mg ²⁺), Percentual de saturação por bases (V).....	24
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFPB - Universidade Federal da Paraíba

CCEN - Centro de Ciências Exatas e da Natureza

CCHSA - Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias

DSE - Departamento de Sistemática e Ecologia

EMPASA - Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas

ECOVÁRZEA - Associação dos Agricultores e Agricultoras da Várzea Paraibana

LARBIM - Laboratório de Ambientes Recifais e Biotecnologia com Microalgas

LAFIEP - Laboratório de Fisiologia e Evolução em Plantas

LS - Laboratório de Solos

T - Tratamento

WC - Water Culture

C.E - Condutividade elétrica

pH - Potencial hídrico

CTC - Capacidade de troca de cátions

P - Fósforo assimilável

K⁺ - Potássio trocável

Al⁺³ - Alumínio trocável

Na⁺ - Sódio trocável

Ca - Cálcio trocável

SB - Somatório de bases

H⁺ + Al⁺³ - Acidez potencial

Mg⁺² - Magnésio trocável

V - Percentual de saturação por bases

V/V - Volume

AP - Altura de plântula

%E - Percentual de emergência

IVE - Índice de velocidade de emergência

InHg - Polegada de mercúrio

DC - Diâmetro de caule

°C - Celsius

MSA - Massa Seca da Parte Aérea

MSR - Massa Seca de Raiz

(D359WC) - Código cepa de *Chlorella* sp.

KG - Quilograma

g - Grama

mm - Milímetro

RPM - Rotação por minuto

ANOVA - Análise de Variância

p - Probabilidade

α - Alfa (nível de significância estatística)

JMP - JMP Software

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1 Agricultura convencional e a agroecologia.....	15
2.2 Fisiologia vegetal e a agroecologia.....	16
2.3 Produção de mudas de tomateiro.....	16
2.4 Substratos alternativos agroecológicos.....	17
2.5 Utilização de microalgas como bioestimulantes vegetais.....	18
3 OBJETIVOS.....	21
3.1 Objetivo Geral.....	21
3.2 Objetivos Específicos.....	21
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
4.1 Obtenção e preparo dos resíduos agrícolas para elaboração dos substratos alternativos.....	22
4.2 Coleta de frutos e beneficiamento de sementes de tomateiro.....	22
4.3 Cultivo da microalga <i>Chlorella</i> sp.	22
4.4 Formulação e caracterização físico-química dos substratos alternativos.....	23
4.5 Análise de emergência e morfometria de plântulas.....	24
4.6 Delineamento experimental.....	25
4.7 Análise estatística.....	26
5 RESULTADOS.....	27
5.1 Efeitos sobre a emergência de tomateiro	27
5.2 Efeitos sobre o crescimento inicial de mudas.....	28
6 DISCUSSÃO.....	30
7 CONCLUSÃO	32
8 REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

A fase de formação de mudas é fundamental para a produção de hortaliças, sendo decisiva para a produtividade e qualidade final das plantas (MACIEL et al., 2017). Nessa etapa, a escolha do substrato adequado é essencial, uma vez que suas propriedades físicas, químicas e biológicas afetam diretamente o desenvolvimento do sistema radicular, que será responsável pela adaptação da planta ao novo local de transplântio, influenciando o sucesso da colheita (ARAÚJO et al., 2013). Atualmente, substratos comerciais prontos são amplamente utilizados devido à sua conveniência, porém, seu alto custo impacta negativamente o rendimento econômico do produtor agrícola (GONÇALVES et al., 2016). Em busca de alternativas que conciliem qualidade e economia, tem-se observado uma crescente adoção de substratos alternativos, especialmente aqueles que reutilizam resíduos agrícolas e outros materiais disponíveis a baixo custo (NADAI et al., 2015).

A composição dos substratos alternativos requer atenção especial às suas características físicas e químicas, além de considerar a espécie vegetal a ser cultivada e fatores econômicos, como a disponibilidade e o baixo custo da matéria-prima (FONSECA, 2001). Assim como o solo, o substrato deve oferecer um equilíbrio adequado entre compostos inorgânicos, matéria orgânica, ar e água (BERG, 2008). Contudo, não existe um substrato ou mistura de resíduos agrícolas que seja universalmente eficaz para todas as espécies, tornando indispensável a avaliação dos substratos mais adequados para cada cultura em contextos específicos. De forma geral, um bom substrato deve apresentar porosidade suficiente para armazenar água sem saturar as raízes, além de permitir a troca gasosa que garante a respiração do sistema radicular. Quimicamente, o pH do substrato precisa estar na faixa ideal de 5,5 a 6,5 para otimizar a disponibilidade de nutrientes essenciais, como o fósforo, cálcio e potássio, que são cruciais para o desenvolvimento das plantas (KAMPF & FERMINO, 2000; BERG, 2008).

Dentre as hortaliças mais expressivas na produção da agricultura brasileira, destaca-se o gênero *Solanum*, pertencente à família Solanaceae, que inclui o tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.). O Brasil ocupa a 9ª posição no ranking mundial de produção, com uma média de 3.679.160 toneladas por ano, gerando uma receita estimada em R\$7,5 bilhões (AZEVEDO et al., 2020; BUTTOW et al., 2010). O cultivo agroecológico de tomates vem ganhando destaque nesse cenário, não apenas pela sua contribuição à segurança alimentar, mas também pela geração de renda e pela preservação ambiental. Na Paraíba, o cultivo de tomate, com foco em práticas agroecológicas, representa uma alternativa sustentável e lucrativa para os agricultores locais. Segundo o IBGE, em 2021, a produção de tomates na Paraíba foi estimada em cerca de 85 mil toneladas, com uma receita que ultrapassa R\$200 milhões, evidenciando a importância econômica desse cultivo para a agricultura familiar e a sustentabilidade regional.

A substituição de fertilizantes minerais por bioestimulantes à base de microalgas representa uma estratégia inovadora, alinhada aos princípios agroecológicos. Isto porque as microalgas são fontes ricas em nutrientes, aminoácidos e hormônios que não apenas melhoram a qualidade do substrato, mas também aumentam a resistência das plantas a estresses ambientais (SILVA et al., 2018; RODRIGUES et al., 2021). Essa abordagem promove uma agricultura mais sustentável, ao reduzir a dependência de insumos químicos, valorizar os recursos locais e minimizar os impactos ambientais, resultando em sistemas produtivos mais resilientes e equilibrados. Nos últimos anos, diversas pesquisas têm destacado os bioestimulantes e biofertilizantes oriundos de microalgas como ferramentas promissoras para promover uma agricultura de alta produtividade, qualidade e conservação ambiental (ROUPHAEL & COLLA, 2020).

As microalgas, que são microrganismos capazes de sintetizar uma variedade de compostos, como fitohormônios, vitaminas, terpenóides, flavonóides, ácidos graxos e polissacarídeos, podem proporcionar efeitos benéficos significativos para as plantas (GONÇALVES et al., 2023). Estudos anteriores já documentaram a eficácia das microalgas na melhoria da qualidade e produtividade das culturas agrícolas (ABHINANDAN et al., 2019; GONÇALVES, 2021; KAPOORE et al., 2021; LEE & RYU, 2021). Dentre as espécies possíveis, as microalgas do gênero *Chlorella* sp., que pertencem ao maior grupo de algas verdes (Chlorophyta), destacam-se pelo seu grande potencial biotecnológico, especialmente devido à alta produção de biomassa (RU et al., 2020; LOURENÇO, 2006) que já vem sendo mundialmente comercializada e pode ser vantajosa na agricultura, especialmente quando aplicada diretamente no solo, demonstrando efeitos positivos no crescimento médio dos tomateiros (BARONE et al., 2019).

Para a produção de bioestimulantes vegetais a partir de microalgas, é fundamental compreender os mecanismos subjacentes, uma vez que nem todas as microalgas demonstram potencial bioestimulante, e alguns metabólitos podem ter efeitos inibitórios (CHOVANCEK et al., 2023). Além disso, a eficácia da aplicação de bioestimulantes depende das concentrações de biomassa e da interação entre diferentes espécies de microalgas, bem como das condições específicas das culturas agrícolas. Assim, a seleção adequada de linhagens algais e a escolha do método de aplicação são cruciais para a produção de bioestimulantes vegetais eficazes a partir desses micro-organismos (RUPAWALLA et al., 2022).

Considerando o potencial de desempenho mencionado, este trabalho tem como objetivo analisar e comparar os efeitos de diferentes formulações de substratos alternativos, compostos por esterco bovino, compostagem e biomassa liofilizada de *Chlorella* sp., sobre o desenvolvimento inicial de mudas de tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.). As hipóteses que guiam este estudo são: (1) é possível formular um substrato alternativo, utilizando resíduos agrícolas, com efeitos

semelhantes ao substrato comercial no desenvolvimento das mudas de tomateiro; (2) a suplementação com biomassa de *Chlorella* sp. promove um melhor desenvolvimento das mudas, potencializando seu crescimento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Agricultura convencional e a agroecologia

A agricultura convencional se desenvolveu em um contexto de crescente demanda por alimentos e produtividade em larga escala. Nas últimas décadas estabeleceu-se como um modelo que se baseia no uso intensivo de insumos químicos, como fertilizantes e pesticidas, e forte dependência de substratos comerciais, que muitas vezes são inacessíveis para pequenos agricultores devido ao seu alto custo. A dependência, aliada à degradação do solo e aos impactos ambientais associados, evidencia a urgência de transição para práticas que valorizem a autonomia do agricultor e a conservação ambiental (PIMENTEL, 2016).

Em meados de 1970, a agroecologia surge como um movimento em resposta às limitações e impactos negativos da agricultura convencional. Impulsionado por pioneiros como o agrônomo francês Claude Bourguignon e a ecóloga norte-americana Frances Moore Lappé, essa ciência começou a explorar práticas agrícolas baseadas em uma visão integradora e sustentável da produção agrícola. Práticas estas, que respeitam os ciclos naturais e promovem a biodiversidade enfatizando a necessidade de uma abordagem holística, integrando conhecimentos científicos e tradicionais, o que resultou na formulação de um conceito que não apenas promove a produção de alimentos, mas também a preservação do meio ambiente e a justiça social (GLIESSMAN, 2015).

O foco na justiça social, do movimento agroecológico, está alinhado com as ideias de que os agricultores têm o direito de cultivar alimentos de maneira sustentável e de decidir sobre o uso de seus recursos naturais (MELLOR, 2018), o que se baseia no reconhecimento de que a agricultura não é apenas uma prática produtiva, mas também uma atividade cultural e econômica essencial para o desenvolvimento de soluções que atendam às necessidades das comunidades (WEZEL et al., 2019). Este enfoque é essencial para facilitar a inovação e a adaptação de práticas agroecológicas a diferentes contextos locais.

No que tange a inovação, as pesquisas científicas desempenham um papel crucial que fortalece a agroecologia ao unir a base teórica e prática para maior eficiência e a sustentabilidade dos sistemas de produção (GLIESSMAN, 2015). Um dos campos promissores de pesquisa dentro da agroecologia é o desenvolvimento de substratos alternativos. Estudos têm demonstrado que substratos ricos em matéria orgânica como compostos de resíduos agrícolas, aumentam a retenção de água e a aeração do solo, beneficiando o crescimento das raízes e, consequentemente, a produtividade das culturas (BORJESSON et al., 2017). Outra área significativa de pesquisa são os biofertilizantes demonstrando aumento da saúde das plantas e da biodiversidade do solo, resultando em maiores rendimentos e melhor qualidade dos produtos além dos bioestimulantes, que melhoram

a eficiência nutricional, promovem o crescimento e a resistência das plantas a estresses ambientais, igualmente relevantes (RAO et al., 2016).

2.2 Fisiologia vegetal e a agroecologia

A fisiologia vegetal desempenha um papel crucial na pesquisa e desenvolvimento de substratos alternativos e bioestimulantes, uma vez que fornece a compreensão de como as plantas interagem com seu ambiente e como elas respondem a diferentes condições de cultivo. Essa base teórica é essencial para a formulação de práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes, alinhadas aos princípios da agroecologia (ZENG & ZHANG, 2020). Por exemplo, a composição de um bom substrato que promova um bom desenvolvimento radicular pode potencializar os efeitos de um bioestimulante, resultando em uma maior eficiência na absorção de nutrientes. Essa sinergia entre substratos e bioestimulantes pode levar a práticas mais eficazes na agricultura, contribuindo para uma produção alimentar mais sustentável (PÉREZ-ALFOCEA et al., 2020).

A integração do conhecimento fisiológico com a pesquisa em substratos e bioestimulantes pode ajudar na adaptação das práticas agrícolas às condições locais, isto porque cada região tem características específicas de solo, clima e cultivo que influenciam as necessidades das plantas. A fisiologia vegetal, portanto, serve como um guia para o desenvolvimento de soluções personalizadas que atendam às demandas dos agricultores, abordagem que não só melhora a produtividade, mas também promove uma agricultura mais sustentável e resiliente, alinhada aos princípios da agroecologia (IPES-Food, 2016).

2.3 Produção de mudas de tomateiro

A produção de tomate agroecológico está se destacando globalmente, contribuindo para a economia de muitos países. No Brasil, o cultivo de tomate é uma atividade econômica significativa, com a produção total de cerca de 4,2 milhões de toneladas em 2020 (IBGE, 2021). No contexto agroecológico, o preço do tomate orgânico pode ser até 30% superior ao convencional, refletindo a valorização do produto por consumidores (ABO, 2020).

Na Paraíba, o cultivo de tomate agroecológico tem apresentado crescimento significativo. A produção agroecológica de tomate na região da Borborema está em expansão, com cerca de 130 mil toneladas produzidas em 2021, sendo uma parte considerável desta produção realizada sob práticas agroecológicas (EMATER, 2022). Essa valorização econômica é fundamental para as famílias agricultoras, que se beneficiam não apenas financeiramente, mas também socialmente, ao promover a sustentabilidade e a conservação dos recursos naturais.

Pelo fato da produção de mudas de tomateiro ser uma etapa crucial para a agricultura, onde a qualidade das plântulas afeta diretamente a produtividade, métodos tradicionais que utilizam substratos comerciais, embora eficazes, podem não ser viáveis economicamente para pequenos produtores (SANTOS et al., 2021) além de gerarem a dependência de insumos externos e seu custo elevado. Diante disto, a busca por substratos alternativos se torna cada vez mais relevante e vários estudos já indicam que substratos bem formulados não apenas promovem um melhor enraizamento, mas também aumentam a resistência das plantas a doenças e estresses (BARBOSA et al., 2023).

2.4 Substratos alternativos agroecológicos

Os substratos alternativos compostos por resíduos agrícolas são uma fonte rica em nutrientes que, quando processados, decompõem sua matéria orgânica liberando nitrogênio, fósforo e potássio, elementos essenciais para o crescimento das plantas (SILVA et al., 2020). Entretanto, a composição nutricional dos resíduos pode variar significativamente e a qualidade das mudas produzidas ainda carece da comparação entre diferentes tipos de resíduos a fim de determinar a melhor opção para a produção das culturas nas diferentes regiões. Além disso, é essencial realizar análises laboratoriais para caracterizar os resíduos a serem utilizados, garantindo que o substrato atenda às necessidades das plantas e sua produção eficaz (LIMA et al., 2021).

A fibra de coco e o capim napier são exemplos de destaque como componente em substratos alternativos por contribuir para a redução de resíduos agrícolas e agregar nutrientes ao substrato para mudas de tomateiro ao aumentar a taxa de germinação e o vigor das plântulas (SANTOS et al., 2021). O uso de composto orgânico proveniente de resíduos de hortifrúti, aliado ao esterco bovino também são amplamente citados em mudas de tomateiro ao apresentar maior biomassa e melhor desenvolvimento radicular (OLIVEIRA et al., 2019). Portanto, o uso combinado de fibra de coco, capim napier, esterco bovino e compostagem de hortifrúti demonstra um potencial significativo para a produção de mudas de tomate ao passo que contribuem para a eficiência do cultivo, a saúde do solo e a redução dos impactos ambientais associados à agricultura convencional (GOMES et al., 2023).

Além da disponibilidade de nutrientes, é essencial que os substratos apresentem boas propriedades físicas, químicas e biológicas para favorecer o crescimento das raízes e permitir uma absorção de água e nutrientes. As propriedades físicas, como a textura, a estrutura e a capacidade de retenção de água também devem ser garantidas por influenciarem diretamente o desenvolvimento radicular, a aeração do solo e a drenagem da água. Já o pH do substrato é um fator crucial que afeta diretamente a disponibilidade de nutrientes e a saúde das plantas. Em geral, a maioria das culturas, incluindo o tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.), apresenta um pH ideal entre 5,5 e 6,5. Nesse

intervalo, a disponibilidade de nutrientes como fósforo, cálcio e magnésio é otimizada, promovendo um crescimento saudável e vigoroso (KADER & ALI, 2017). Quando o pH está fora dessa faixa, a disponibilidade de certos nutrientes, como fósforo e micronutrientes, pode ser drasticamente reduzida.

Um pH muito ácido (abaixo de 6,0) pode levar à toxicidade de elementos como alumínio e manganês, prejudicando o crescimento das raízes e resultando em plantas debilitadas. Em contrapartida, um pH muito alcalino (acima de 7,5) pode tornar muitos micronutrientes essenciais, como ferro, manganês e zinco, menos solúveis e, portanto, menos disponíveis para a absorção pelas raízes. Isso pode resultar em deficiências nutricionais que prejudicam o crescimento e o desenvolvimento das plantas (WATANABE et al., 2020). Além disso, o pH elevado pode alterar a síntese e a degradação de hormônios, como as auxinas e as giberelinas que são essenciais para o desenvolvimento e a coordenação das funções vegetativas (BATTACHARYA et al., 2022).

Os níveis de pH do substrato têm um efeito significativo sobre a atividade microbiana. Um pH muito ácido ou muito alcalino pode inibir a atividade de microrganismos benéficos, resultando também em menor disponibilidade de nutrientes para as plantas (HARTMANN et al., 2014). Portanto, garantir um balanço adequado do pH não é apenas importante para a nutrição, mas também para a saúde geral do substrato e das plantas.

2.5 Utilização de microalgas como bioestimulantes vegetais

A redução do uso e dependência de insumos químicos para a produção agrícola é essencial para contenção dos impactos ambientais e econômicos decorrentes do modelo de produção convencional, sendo os insumos de origem biológica uma alternativa para garantir a sustentabilidade da cadeia agrícola, garantindo a oferta de alimentos a longo prazo e preservando o meio ambiente (RIZWAN, 2018; WIN et al., 2018).

Os produtos biológicos agrícolas movimentaram cerca de R\$ 5 bilhões em 2023, avançando a uma taxa média anual de 21% nos últimos três anos, percentual quatro vezes maior do que o mundial para o período, de acordo com a Blink/Croplife Brasil (HF BRASIL/CEPEA USP, 2024). Entretanto, poucas marcas de fertilizantes à base de algas estão disponíveis, sendo a maioria importada. No que tange ao grupo das microalgas, a vasta biodiversidade brasileira possibilita novas descobertas que fomentem uma produção sustentável através da aplicação de seus extratos, podendo ser cultivadas em ambientes controlados com baixo impacto ambiental.

Entre esses produtos, a biomassa de microalgas chama a atenção da ciência, devido ao seu inegável potencial como fonte de nutrientes essenciais e metabólitos com diferentes bioatividades,

que podem melhorar significativamente o rendimento das colheitas (BARONE et al., 2018; SANTINI et al., 2021; MAZEPA et al., 2021). Adicionalmente, a aplicação de microalgas no cultivo de mudas pode reduzir a necessidade de fertilizantes químicos, estudos demonstram que o uso de extratos de *Chlorella* sp. pode complementar ou até substituir fertilizantes tradicionais em algumas situações, proporcionando uma alternativa mais ecológica e econômica (KIM et al., 2022). Segundo a FAO (2022), a integração dessas práticas pode diminuir os custos de produção e os impactos ambientais associados ao uso de fertilizantes sintéticos.

A combinação de resíduos agrícolas e microalgas, como *Chlorella* sp. pode potencializar as propriedades nutricionais do substrato, pois os resíduos fornecem uma base rica em nutrientes, enquanto as microalgas adicionam compostos bioativos e hormônios vegetais (GONÇALVES et al., 2020). Além disso, podem ser cultivadas em sistemas alternativos por pequenos produtores, como em caixas d'água utilizando esterco bovino a fim de fornecer nitrogenados e outros micronutrientes essenciais para o crescimento das algas, favorecendo a produtividade e a qualidade da biomassa (MARTINS et al., 2021). Essa alternativa pode resultar em aumento da produtividade das culturas agrícolas adjacentes, beneficiando economicamente os pequenos produtores, além de contribuir para a biodiversidade e a sustentabilidade dos agroecossistemas (SILVA et al., 2018; WATANABE et al., 2020).

O gênero *Chlorella* pertence ao filo Chlorophyta, que inclui as algas verdes, sendo microalgas unicelulares e fotossintéticas, sendo encontradas predominantemente em ambientes de água doce (BUCHHEIM et al., 2001). As células de *Chlorella* sp. são geralmente esféricas ou ovaladas, com um diâmetro que varia de 2 a 10 micrômetros (**Figura 1**). Além de sua importância ecológica, *Chlorella* sp. é amplamente reconhecida por suas propriedades nutricionais e potencial bioestimulante, o que a torna uma adição valiosa em substratos para a produção de mudas (PANIAGUA et al., 2021).



Figura.1. Microalga unicelular do gênero *Chlorella*. Fonte: LARBIM/UFPB

Efeitos da aplicação de *Chlorella* sp. já resultaram em um aumento significativo na altura das plantas e na biomassa total de tomateiros, indicando um efeito positivo no crescimento vegetativo de suas mudas (SILVA et al., 2020). Para germinação, observou-se que a *Chlorella* sp. incorporada ao substrato não apenas aumentou a taxa de germinação das sementes de tomate, mas também promoveu um crescimento inicial mais vigoroso, refletido em raízes mais longas e maior biomassa (NUNES & SILVA, 2020). Nas raízes também sua aplicação também teve efeitos em maior volume de raízes e melhor eficiência na absorção de água e nutrientes, fator crucial para o desenvolvimento saudável das plantas (MARTINS et al., 2022). Para a frutificação, a utilização de bioestimulantes à base de *Chlorella* sp. melhorou a qualidade dos frutos de tomate, promovendo um aumento no teor de nutrientes e na resistência a doenças (FERREIRA et al., 2021). Tais efeitos podem ser atribuídos a uma gama de biomoléculas e fitohormônios, como auxinas e giberelinas, que induzem respostas fisiológicas essenciais para o ciclo de vida dos tomates (SILVA & OLIVEIRA, 2018; MARTINS, 2019).

As pesquisas sobre microalgas como bioestimulantes ainda se encontram em estágio inicial, entretanto, com resultados promissores que validam a importância de continuar investigando a diversidade genética das microalgas e suas aplicações na agricultura. Como bioprodutos, a aplicação biotecnológica das microalgas junto às técnicas experimentais utilizadas em fisiologia vegetal podem abrir novas possibilidades para o desenvolvimento de bioestimulantes eficazes no cenário de desenvolvimento sustentável dentro dos princípios agroecológicos (MOKHBERDAST et al., 2023).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Formular um substrato alternativo aos comerciais para a produção de mudas de tomateiro a partir de resíduos agrícolas e biomassa de microalgas.

3.2 Objetivos Específicos

1. Comparar a velocidade e o percentual de emergência de tomateiro para os substratos alternativos formulados em relação ao controle;
2. Mensurar o efeito dos substratos alternativos formulados sobre o crescimento das mudas de tomateiro.
3. Quantificar o efeito bioestimulante de microalgas (*Chlorella* sp.) como promotoras de crescimento para o tomateiro.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Obtenção e preparo dos resíduos agrícolas para elaboração dos substratos alternativos

Para a formulação dos substratos alternativos, foram selecionados os seguintes materiais: areia grossa, capim napier, fibra de coco, esterco bovino e compostagem. Estes elementos foram selecionados de acordo com a disponibilidade da matéria-prima em diálogo com os agricultores agroecológicos da região metropolitana de João Pessoa. O adubo oriundo de compostagem de frutas e verduras foi obtido junto à Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas (EMPASA). A fibra de coco e o capim napier foram obtidos junto aos agricultores agroecológicos locais, secos ao ar livre e triturados em liquidificador para obtenção de uma mistura de fibras curtas e em pó capaz de serem misturada aos demais componentes dos substratos. A areia, o esterco bovino e a compostagem foram peneiradas em malha fina para obter uma granulometria homogênea, secos em estufa a 60°C por 24 horas e armazenados em potes hermeticamente fechados para uso posterior.

4.2 Coleta de frutos e beneficiamento de sementes de tomateiro

Os frutos de *Solanum lycopersicum* L. foram adquiridos por meio de agricultores agroecológicos da feira ECOVÁRZEA (Associação dos Agricultores e Agricultoras da Várzea Paraibana), um espaço de comercialização agroecológica localizada na Universidade Federal da Paraíba UFPB na cidade de João Pessoa –PB .

Os frutos foram seccionados transversalmente e despolpados. Com o auxílio de uma peneira, a polpa foi lavada em água corrente até a limpeza total da mucilagem e restos placentários. O arilo das sementes foi retirado manualmente pela fricção das mesmas sobre malha de papel e as sementes foram expostas à secagem sobre a bancada do laboratório em temperatura ambiente ($\pm 25^{\circ}\text{C}$).

4.3 Cultivo da microalga *Chlorella* sp.

A cepa de *Chlorella* sp. (D359WC) foi obtida junto à coleção de microalgas do Laboratório de Ambientes Recifais e Biotecnologia com Microalgas (LARBIM), localizado no Departamento de Sistemática e Ecologia (DSE/CCEN) da Universidade Federal da Paraíba, Brasil.

A otimização do cultivo de microalgas se deu em meio químico Water Culture (WC) (GUILLARD & LORENZEN, 1972) previamente esterilizadas em autoclave durante 30 minutos a 120°C. O cultivo foi realizado em triplicata utilizando 9 balões volumétricos de vidro de 250 mL,

mantidas em aeração constante para garantir a homogeneização do cultivo e iluminadas por lâmpadas fluorescentes tipo luz-do-dia, com fotoperíodo de 12 horas (BAGLIERI et al., 2016). Após atingirem a fase estacionária, fase de estabilidade do crescimento para colheita, a biomassa foi sedimentada por centrifugação (3000 rpm, 15°C por 10 min), liofilizadas (-50°C, 0,0561 InHg) e armazenada em freezer a 15 °C para posterior utilização. (**Figura 2**).



Figura 2. Biomassa de *Chlorella* sp. liofilizada para composição dos substratos alternativos.

4.4 Formulação e caracterização físico-química dos substratos alternativos

Para os experimentos, seis diferentes formulações de substratos foram avaliados, sendo: T1) Substrato comercial (controle); T2) Areia + Fibra de coco + Capim Napier + Esterco (2:1:1:2 v/v); T3) Areia + Fibra de coco + Capim Napier + Compostagem (2:1:1:2 v/v); T4) Substrato Comercial + *Chlorella* sp. 5 g/kg; T5) Areia + Fibra de coco + Capim Napier + Esterco (2:1:1:2 v/v) + *Chlorella* sp. 5 g/kg; e T6) Areia + Fibra de coco + Capim Napier + Compostagem (2:1:1:2 v/v) + *Chlorella* sp. 5g/kg.

A caracterização química dos resíduos utilizados na composição dos substratos para a produção de mudas de tomateiro foi realizada no Laboratório de solos (LS) no Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias (CCHSA), da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) Campus III, Bananeiras-PB, Brasil, seguindo protocolos padronizados (EMBRAPA, 2017).

A caracterização físico-química dos substratos controle e formulados está disposta na **Tabela 1**.

Tabela 1. Atributos físico-químicos dos substratos alternativos formulados para produção de mudas de *Solanum lycopersicum* L. Condutividade elétrica (C.E); potencial hídrico (pH), capacidade de troca de cátions (CTC); Fósforo assimilável (P), Potássio trocável (K+), Alumínio trocável (Al+3), Sódio trocável (Na+), Cálcio trocável (Ca), Somatório de bases (SB), Acidez potencial (H + + Al+3), Magnésio trocável (Mg+2), Percentual de saturação por bases (V).

TRATAMENTO	pH	P	K+	Na+	H + + Al+3	Al+3	Ca+2	Mg+2	SB	CTC	V
		mg/dm ³		cmolc/dm ³							%
T1	5,45	420,48	14,88	0,066	7,59	0,15	8,25	4,00	12,35	19,94	61,94
T2	7,95	892,82	14,98	0,186	0,17	0,00	2,85	2,90	5,97	6,14	97,31
T3	7,89	755,11	15,00	0,183	0,17	0,00	3,25	3,00	6,47	6,64	97,51
T4	5,94	410,38	14,86	0,078	6,60	0,15	8,45	5,35	13,92	20,52	67,83
T5	7,88	758,33	14,98	0,195	0,50	0,00	3,40	2,95	6,58	7,08	93,01
T6	6,90	409,00	14,60	0,013	0,99	0,05	5,40	2,80	8,25	9,24	89,29

4.5 Análise de emergência e morfometria de plântulas

Após a semeadura, as plântulas emergidas (com abertura de cotilédones) foram contadas e registradas quanto à data de emergência para avaliação dos parâmetros de percentual de emergência (%E) e índice de velocidade de emergência (IVE).

Após o registro das taxas de emergência, cerca de quinze dias após a semeadura, realizou-se um desbaste deixando apenas uma plântula por célula.

As avaliações morfométricas das plântulas, ocorreram aos 45 dias após a semeadura, consistindo na medição da altura de plântula (AP), diâmetro de caule (DC), pesagem das massas secas da parte aérea (MSA) e da raiz (MSR) (**Figura 3**).



Figura 3. Plântulas de 45 dias de microtomateiros cultivadas em diferentes substratos agroecológicos alternativos. Da esquerda para a direita: T1, substrato comercial, T2, areia + fibra de coco + capim napier + esterco, T3, areia + fibra de coco + capim napier + compostagem, T4, substrato comercial + *Chlorella* sp. 5 g/kg, T5, areia + fibra de coco + capim napier + esterco + *Chlorella* sp. 5 g/kg e T6, areia + fibra de coco + capim napier + compostagem + *Chlorella* sp. 5g/kg.

4.6 Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi de blocos casualizados, sendo composto por bandejas de poliestireno contendo 140 mL de substrato. Os substratos foram dispostos em fileiras nas bandejas e umedecidos por 48h. Para os ensaios de emergência de plântulas, 5 sementes foram dispostas em cada célula a uma profundidade de 1 cm, considerando uma fileira composta por 5 células como unidade experimental, totalizando 25 sementes por repetição. Ao total, 5 repetições para cada tratamento foram posicionados de forma casualizada nas bandejas. Para maiores detalhes, verificar o desenho experimental constante na **Figura 4**.

Para a obtenção da altura da parte aérea foi utilizada régua milimetrada, medindo-se da base do colo até o ápice da planta. O diâmetro do caule foi obtido por meio de um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm (EAGems, modelo IP54). A massa seca da parte aérea foi obtida por meio do corte das mudas na base do colo. Para a obtenção da massa seca radicular, as raízes foram cuidadosamente lavadas em água corrente, sobre peneira. Posteriormente, os materiais foram acondicionados em sacos de papel e colocados em estufa com circulação de ar a 65°C por 72 horas, até se desidratarem completamente. Em seguida, foi realizada a pesagem dos materiais em balança eletrônica de precisão de 0,01g.

Figura 4. Desenho experimental da disposição dos tratamentos (diferentes substratos agroecológicos formulados). T1, Substrato Comercial, T2, areia + fibra de coco + capim napier + esterco, T3, areia + fibra de coco + capim napier + compostagem, T4, substrato comercial + *Chlorella* sp. 5 g/kg, T5, areia + fibra de coco + capim napier + esterco + *Chlorella* sp. 5 g/kg e T6, areia + fibra de coco + capim napier + compostagem + *Chlorella* sp. 5g/kg.

Bandeja A.									
T1	T3	T5	T6	T4	T2	T3	T5	T1	T6
T1	T3	T5	T6	T4	T2	T3	T5	T1	T6
T1	T3	T5	T6	T4	T2	T3	T5	T1	T6
T1	T3	T5	T6	T4	T2	T3	T5	T1	T6
T1	T3	T5	T6	T4	T2	T3	T5	T1	T6

Bandeja B.									
T5	T1	T3	T4	T2	T6	T5	T4	T3	T2
T5	T1	T3	T4	T2	T6	T5	T4	T3	T2
T5	T1	T3	T4	T2	T6	T5	T4	T3	T2
T5	T1	T3	T4	T2	T6	T5	T4	T3	T2
T5	T1	T3	T4	T2	T6	T5	T4	T3	T2

Bandeja C.									
T6	T4	T5	T3	T1	T2	T4	T6	T2	T1
T6	T4	T5	T3	T1	T2	T4	T6	T2	T1
T6	T4	T5	T3	T1	T2	T4	T6	T2	T1
T6	T4	T5	T3	T1	T2	T4	T6	T2	T1
T6	T4	T5	T3	T1	T2	T4	T6	T2	T1

4.7 Análise estatística

O desenho experimental adotado foi inteiramente casualizado. As diferenças estatísticas entre os tratamentos foram determinadas por ANOVA seguida de teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). As variáveis foram previamente submetidas às análises de normalidade e homocedasticidade, pressupostos para a ANOVA. As análises foram executadas no software JMP v. 17 (<https://www.jmp.com>).

5 RESULTADOS

5.1 Efeitos sobre a emergência de tomateiro

As sementes cultivadas em substrato comercial (T1) apresentaram percentual médio de emergência de 93,6%, sendo maiores do que quando comparados aos substratos alternativos formulados a base de esterco (T2), com percentual médio de apenas 58,4% ($p = 0,0006$) e de compostagem (T3), com 68,8% ($p = 0,02$). Entretanto, a adição de biomassa de *Chlorella* sp. a estes substratos aumentou a taxa de emergência das plântulas cultivadas a valores médios semelhantes ao comercial. Para o substrato alternativo à base de esterco, por exemplo, a suplementação com biomassa de algas fez com que o percentual médio de emergência alcançasse 87,2%, comparativamente maior à sua contraparte sem adição de *Chlorella* sp. ($p = 0,0053$) na Figura 5A.

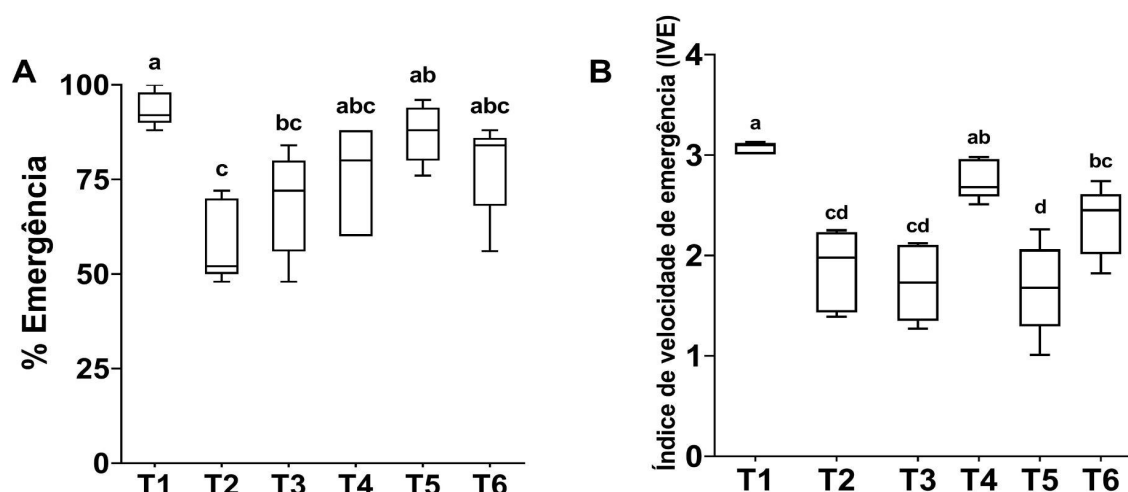


Figura 5. Percentual de emergência e índice de velocidade de emergência de plântulas de tomateiro analisadas para os diferentes substratos. (A) Porcentagem de emergência; (B) Índice de velocidade de emergência. Os dados estão representados em boxplots, onde as caixas correspondem ao intervalo interquartil e as extremidades das barras, aos valores máximos e mínimos. Letras diferentes significam diferenças estatísticas de acordo com o teste de Tukey. T1, substrato comercial, T2, areia + fibra de coco + capim napier + esterco, T3, areia + fibra de coco + capim napier + compostagem, T4, substrato comercial + *Chlorella* sp. 5 g/kg, T5, areia + fibra de coco + capim napier + esterco + *Chlorella* sp. 5 g/kg e T6, areia + fibra de coco + capim napier + compostagem + *Chlorella* sp. 5g/kg.

Quanto à velocidade média de emergência das plântulas, o substrato comercial (T1) apresentou o maior índice de velocidade de emergência (IVE) quando comparado aos substratos alternativos T2 ($p < 0,0001$), T3 ($p < 0,0001$) e T5 ($p < 0,0001$). A suplementação com *Chlorella* sp. não interferiu no IVE quando comparados ao substrato correspondente sem adição do bioestimulante (Figura 5B).

5.2 Efeitos sobre o crescimento inicial de mudas

As maiores mudas de tomateiros em altura foram observadas no tratamento T4. Em relação ao T1, o percentual médio de incremento foi de 24% ($p = 0,0039$). Tal efeito demonstra a ação benéfica da presença de *Chlorella* sp. no crescimento em altura das plântulas de tomates para o substrato comercial. Já para os substratos alternativos formulados, o efeito das algas não foi observado, uma vez que a altura das plântulas foi semelhante entre T2 e T5 ($p = 0,8472$), e entre T3 e T6 ($p = 0,9871$) (Figura 6A).

O maior diâmetro do caule foi observado no tratamento T4, registrando média de 3,9 cm de diâmetro, um aumento médio de 30% quando comparado ao T1 ($p < 0,0001$). As plantas cultivadas em substratos alternativos apresentaram diâmetros de caule inferiores às cultivadas em substrato comercial, mesmo quando suplementadas com biomassa de *Chlorella* sp. (Figura 6B).

Considerando a massa seca de parte aérea, diferenças significativas foram observadas em relação à adição de microalgas em substrato comercial, com incremento médio de 80% de massa em relação ao substrato sem suplementação de *Chlorella* sp. ($p = 0,0021$). Entre os substratos alternativos T2 e T5 ($p = 0,8730$) e entre T3 e T6 ($p = 0,9999$), a alocação de biomassa na parte aérea das plântulas foi semelhante (Figura 6C).

Observando os efeitos da suplementação de biomassa de algas no acúmulo de massa seca das raízes, as plântulas cultivadas em substrato comercial se beneficiaram de forma que aumentaram em duas vezes a alocação neste órgão em comparação ao controle ($p = 0,0032$). Tal efeito positivo não foi verificado entre as comparações relativas aos substratos alternativos (Figura 6D).

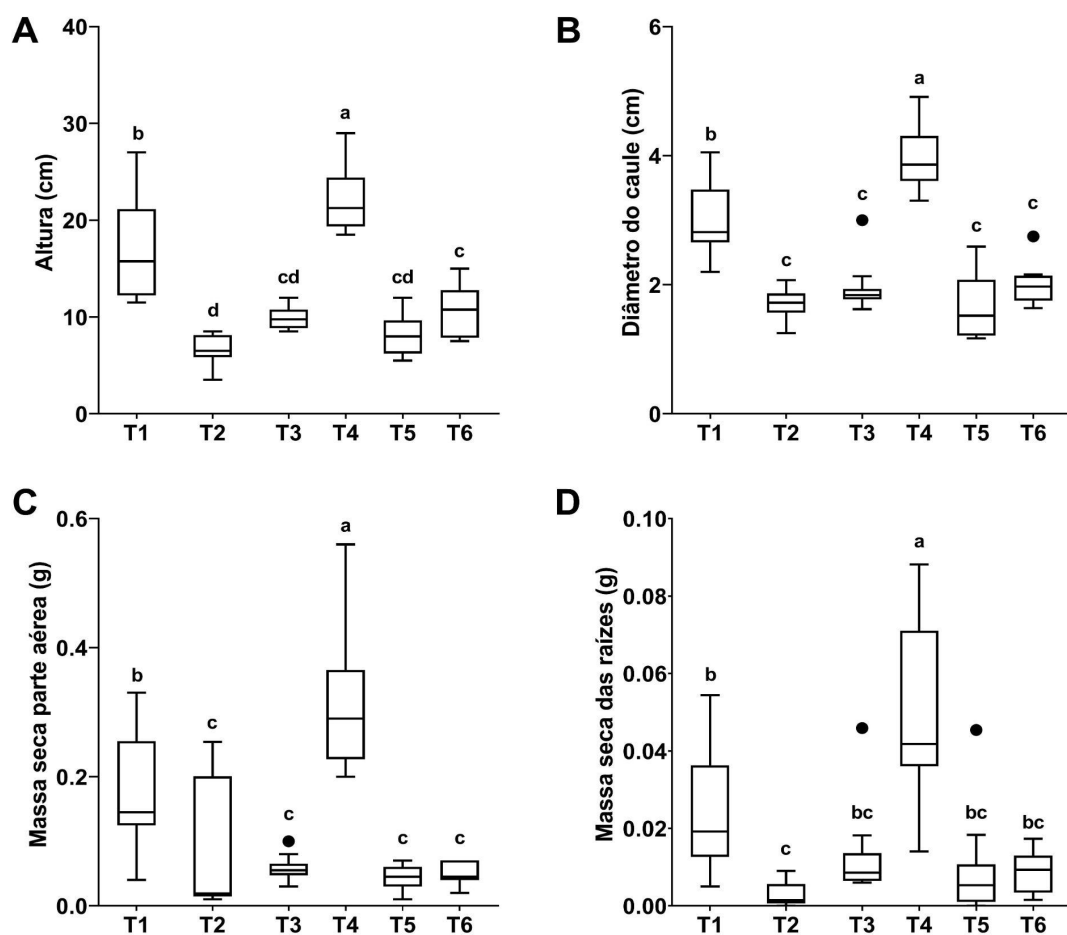


Figura 6. Variáveis de crescimento de plântulas de tomateiro analisadas para os diferentes substratos. (A) Altura, (B) Diâmetro do caule, (C) Massa seca parte aérea, (D) Massa seca das raízes. Letras diferentes significam diferenças estatísticas de acordo com o teste de Tukey. T1, substrato comercial, T2, areia + fibra de coco + capim napier + esterco, T3, areia + fibra de coco + capim napier + compostagem, T4, substrato comercial + *Chlorella* sp. 5 g/kg, T5, areia + fibra de coco + capim napier + esterco + *Chlorella* sp. 5 g/kg e T6, areia + fibra de coco + capim napier + compostagem + *Chlorella* sp. 5g/kg.

6 DISCUSSÃO

Nos últimos anos, o uso de bioestimulantes naturais têm ganhado destaque como uma alternativa promissora para reduzir a dependência de fertilizantes químicos e recursos não renováveis. Estudos comprovam que microalgas não apenas promovem o crescimento das plantas (GONÇALVES, 2021), mas também conferem resistência imunológica sistêmica contra diversos estresses bióticos e abióticos (RICCI et al., 2019). Pesquisas específicas sobre o cultivo do tomate têm se concentrado no desenvolvimento de bioestimulantes capazes de melhorar a formação radicular e a absorção de nutrientes, resultando em maior volume e vigor do sistema radicular durante as fases iniciais do crescimento vegetativo (BERTHON et al., 2021). Entre as microalgas estudadas, o gênero *Chlorella* se destaca pelo seu grande potencial bioestimulante (GARCIA-GONZALEZ & SOMMERFELD, 2016; BUMANDALAI & TSERENNADMID, 2019; SUPRAJA et al., 2020). No presente estudo, a aplicação de biomassa liofilizada de *Chlorella* sp., na concentração de 5g/kg, mostrou efeitos positivos no desenvolvimento de mudas de tomateiro em substrato comercial, favorecendo desde a emergência até o crescimento morfológico das mudas, medido pela altura das plântulas, diâmetro do caule, e massa seca da parte aérea e das raízes.

Os resultados deste estudo evidenciam os efeitos positivos da *Chlorella* sp. no cultivo de tomates em substrato comercial, com aumento em todas as variáveis de crescimento analisadas, exceto o IVE. Dentre os efeitos observados, destaca-se o acúmulo significativo de biomassa nas raízes e na parte aérea das mudas de tomate, resultados semelhantes aos obtidos com *Chlorella vulgaris*, que, também promoveu a germinação e o desenvolvimento dos brotos radiculares (CHOLEVA et al., 2005). A maior eficiência no uso de nutrientes está amplamente relacionada a modificações morfológicas das raízes, como aumento no comprimento, densidade, número e comprimento dos pêlos radiculares, ampliando, assim, sua área superficial (DU JARDIM, 2015). Além disso, a irrigação com água de *Chlorella pyrenoidosa* e *Chlorella* sp. também já beneficiou em estudos anteriores a produção de tomates, especialmente em solos pobres, resultando em maior rentabilidade para a cultura e menor impacto ambiental (GARCIA-SENIN, 2013)

Embora o efeito biofertilizante das microalgas fornecendo nutrientes essenciais às plantas, seja amplamente reconhecido, e diferentes classes de metabólitos com propriedades bioestimulantes, como compostos fenólicos, fitohormônios, terpenóides, polissacarídeos e aminoácidos (GONÇALVES, 2021), já tenham sido identificadas e compiladas, ainda há poucas revisões e artigos atualizados sobre esse tema. Esses estudos raramente discutem as funcionalidades de diversas classes de bioestimulantes presentes nas microalgas (CHIAIESE et al., 2018; ARAHOU et al., 2022; GONZÁLEZ-PÉREZ et al., 2022). Além disso, há escassez de dados publicados sobre seus efeitos na qualidade dos frutos de culturas agrícolas importantes, como o tomate. Compreender

como os bioestimulantes podem influenciar o desempenho produtivo e a qualidade fitoquímica do tomate cultivado em estufa é uma demanda crescente entre produtores, especialistas e cientistas. Esse cenário reforça a necessidade de novas pesquisas para promover o uso comercial de aditivos de crescimento à base de microalgas.

Diante da caracterização físico-química dos substratos alternativos, os valores de pH observados podem ter impactado diretamente a capacidade das plantas de absorver nutrientes e se desenvolver. Alterações no pH básico dificultaram a determinação precisa da influência da fonte de adubo, seja esterco bovino ou compostagem, na composição dos substratos alternativos, impossibilitando a comprovação dos efeitos bioestimulantes das microalgas. No entanto, apesar dos resultados imprecisos, estudos promissores sobre o uso de substratos alternativos com fertilizantes biológicos em tomates já foram relatados. Pesquisas recentes indicam que substratos compostos por resíduos orgânicos, como esterco bovino, casca de arroz carbonizada, fibra de coco, bagaço de cana e resíduos de poda, combinados com biofertilizantes e microrganismos, podem melhorar tanto o crescimento quanto a qualidade dos frutos de tomateiros (MARTÍNEZ et al., 2021; PEREIRA et al., 2022; SILVA et al., 2023). Esses resultados sugerem que, com mais investigações, o uso desses substratos pode se tornar uma alternativa viável e eficiente para a produção agrícola sustentável.

7 CONCLUSÃO

As mudas de tomateiros cultivadas em substrato comercial com a adição de 5 g/kg de biomassa liofilizada de *Chlorella* sp. apresentaram aumento significativo nos valores médios de percentual de emergência, altura da plântula, diâmetro do caule, e massa seca tanto da parte aérea quanto das raízes. Esses resultados evidenciam a influência positiva da biomassa de *Chlorella* sp. na cultura do tomate, conforme indicado pelas análises morfométricas do desenvolvimento inicial.

Em contraste, os menores níveis de crescimento foram observados em um pH levemente básico de 7,95. A elevada alcalinidade dos substratos alternativos comprometeu a comparação de sua composição e os efeitos no desenvolvimento inicial das mudas tratadas, dificultando a análise dos resultados.

Por fim, os resultados deste estudo ressaltam o grande potencial da aplicação de *Chlorella* sp. na produção de tomates, além de indicar um futuro promissor para as pesquisas relacionadas a bioestimulantes à base de microalgas em plantas cultivadas.

REFERÊNCIAS

- ABHINANDAN, S.; BOSE, S. R.; VENKATESWARLU, K.; MEGHARAJ, M. Microalgas e cianobactérias do solo: o potencial biotecnológico na manutenção da fertilidade e saúde do solo. *Critical Reviews in Biotechnology*, v. 39, n. 8, p. 981–998, 2019.
- ARAÚJO, A. C.; ARAÚJO, A. C.; DANTAS, M. K. L.; PEREIRA, W. E.; ALOUFA, M. A. I. Utilização de substratos orgânicos na produção de mudas de mamoeiro formosa. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 8, n. 1, p. 210-216, 2013.
- ARAHOU, F.; LIJASSI, I.; WAHBY, A.; RHAZI, L.; ARAHOU, M.; WAHBY, I. Bioestimulantes à base de espirulina para agricultura sustentável: melhoria do rendimento e tendências do mercado. *Bioenergy Research*, v. 15, n. 1, p. 1–16, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE AGRICULTURA ORGÂNICA (ABO). Relatório Anual de Produção Orgânica. 2020.
- AZEVEDO, J. M. A. Mudas agroecológicas de maracujá-amarelo utilizando manipueira, urina de vaca e biofertilizante de amendoim forrageiro. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 6, p. 35521-35536, 2020.
- BAGLIERI, A. et al. Evaluation of fertilizing properties of livestock wastewater treated by two-phase anaerobic digestion. *Science of the Total Environment*, v. 539, p. 295-301, 2016.
- BARBOSA, F. M.; PEREIRA, L. R.; MENDES, A. C. Efeitos de substratos bem formulados no enraizamento e resistência de plantas a doenças e estresses. *Revista Brasileira de Horticultura*, v. 42, n. 1, p. 50-58, 2023.
- BARONE, E. D.; VASCONCELOS, L. F.; PEREIRA, T. R. Potencial da biomassa de microalgas como fonte de nutrientes e bioativos para a agricultura. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 13, n. 2, p. 145-153, 2018.
- BARONE, V.; PUGLISI, I.; FRAGALÀ, F.; LO PIERO, A. R.; GIUFFRIDA, F.; BAGLIERI, A. Novo bioprocesso para o cultivo de microalgas em sistema hidropônico de cultivo de tomateiro. *Journal of Applied Phycology*, v. 31, n. 1, p. 465–470, 2019.
- BATTACHARYA, R. et al. Role of microalgae in enhancing soil health. *Environmental Sustainability*, v. 10, n. 4, 2022.
- BERTHON, J.-Y.; MICHEL, T.; WAUQUIER, A.; JOLY, P.; GERBORE, J.; FILAIRE, E. Algas marinhas e microalgas como principais atores da biotecnologia azul para alcançar a estimulação de plantas e o biocontrole de pragas e patógenos – uma revisão dos últimos avanços e perspectivas futuras. *Journal of Agricultural Sciences*, v. 159, n. 7-8, p. 1–12, 2021.
- BERG, L. R. *Introductory Botany: Plants, People, and the Environment*. Belmont, CA: Thomson Brooks/Cole Corporation, 2008.
- BÖRJESSON, G.; BENGTSSON, J.; NORDLUND, E. Compost quality and its effects on soil health and crop productivity. *Soil & Tillage Research*, v. 168, p. 99-108, 2017.

- BUCHHEIM, M. A.; KELLER, A.; KOETSCHAN, C.; FÖRSTER, F.; WOLF, M. Phylogeny of the Chlorophyceae with special reference to the Sphaeropleales: a study of 18S and 26S rDNA data. *Journal of Phycology*, v. 37, p. 819–835, 2001.
- BUMANDALAI, O.; TSERENNADMID, R. Efeito da *Chlorella vulgaris* como biofertilizante na germinação de sementes de tomate e pepino. *International Journal of Aquatic Biology*, v. 7, n. 2, p. 95–99, 2019.
- BÜTTOW, M. V.; BARBIERI, R. L.; NEITZKE, R. S.; HEIDEN, G.; CARVALHO, F. I. F. D. Diversidade genética entre acessos de pimentas e pimentões da Embrapa Clima Temperado. *Ciência Rural*, v. 40, n. 6, p. 1264-1269, 2010.
- CHIAIESE, P.; CORRADO, G.; COLLA, G.; KYRIACOU, M. C.; ROUPHAEL, Y. Fontes renováveis de bioestimulação vegetal: microalgas como meio sustentável para melhorar o desempenho das culturas. *Frontiers in Plant Science*, v. 9, p. 1782, 2018.
- CHOLEVA, T.; BILEVA, Y.; TZVETKOV BARAKOV, P. Preliminary study of the green algae *Chlorella* (*Chlorella vulgaris*) for control on the root-knot nematode (*Meloidogyne arenaria*) in tomato plants and ectoparasite *Xiphinema index* grape seedlings. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, v. 70, n. 4, p. 915-926, 2005.
- CHOVANCEK, E.; SALAZAR, J.; ŞİRİN, S.; ALLAHVERDIYEVA, Y. Microalgae from Nordic collections demonstrate biostimulant effects by enhancing plant growth and photosynthetic performance. *Physiologia Plantarum*, v. 175, p. 1-12, 2023.
- DU JARDIN, P. Bioestimulantes vegetais: definição, conceito, principais categorias e regulamentação. *Scientia Horticulturae*, v. 196, p. 3-14, 2015.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2017.
- EMATER-PB. Relatório sobre Produção Agroecológica na Paraíba. Empresa Paraibana de Pesquisa, Assistência e Extensão Rural, 2022.
- FAO. Relatório sobre práticas agrícolas sustentáveis: redução de custos e impactos ambientais com a integração de métodos orgânicos. Roma: Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, 2022.
- FERREIRA, L. A.; SANTOS, M. R.; OLIVEIRA, J. F. Efeitos de biofertilizantes à base de *Chlorella* sp. na qualidade dos frutos de tomate. *Revista Brasileira de Agricultura Sustentável*, v. 5, n. 2, p. 150-157, 2021.
- FONSECA, T. G. Produção de mudas de hortaliças em substratos de diferentes composições com adição de CO₂ na água de irrigação. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2001.
- GARCIA-GONZALEZ, J.; SOMMERFELD, M. Propriedades biofertilizantes e bioestimulantes da microalga *acutodesmus dimorphus*. *Journal of Applied Phycology*, v. 28, n. 2, p. 1051–1061, 2016.
- GARCIA-SENIN, P. Efeitos da irrigação com água de *Chlorella pyrenoidosa* e *Chlorella* sp. na produção de tomateiros em solos pobres. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 7, n. 1, p. 55-65, 2013.

GLIESSMAN, S. R. Agroecology: The ecology of sustainable food systems. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2015.

GOMES, J. P. et al. Sustentabilidade na produção de mudas: o uso de substratos alternativos. *Revista de Agricultura Sustentável*, v. 15, n. 1, p. 45-53, 2023.

GONÇALVES, A. F. Metabólitos de microalgas com propriedades bioestimulantes e seu papel no fornecimento de nutrientes essenciais às plantas. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2021.

GONÇALVES, A. L. O uso de microalgas e cianobactérias na melhoria de práticas agrícolas: uma revisão sobre seus papéis biofertilizantes, bioestimulantes e biopesticidas. *Appl. Sci.*, v. 11, n. 2, p. 871, 2021.

GONÇALVES, F. C. M.; ARRUDA, F. P.; SOUSA, F. L.; ARAÚJO, J. R. Germinação e desenvolvimento de mudas de pimentão Cubanelle em diferentes substratos. *Revista Mirante (UFG)*, v. 9, n. 1, p. 35-45, 2016.

GONÇALVES, R. P.; LIMA, T. S.; SOUZA, J. A. A combinação de resíduos agrícolas e microalgas: potencialização das propriedades nutricionais do substrato. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 15, n. 3, p. 215-222, 2020.

GONÇALVES, J.; FREITAS, J.; FERNANDES, I.; SILVA, P. Microalgae as biofertilizers: a sustainable way to improve soil fertility and plant growth. *Sustainability*, v. 15, p. 12413, 2023.

GONZÁLEZ-PÉREZ, A. et al. Microalgae bioactive compounds: functionalities and applications in agriculture. *Plants*, v. 11, n. 3, p. 367, 2022.

GUILLARD, R. R. L.; LORENZEN, C. J. Yellow green algae with chlorophyllid-c. *Journal of Phycology*, v. 8, n. 1, p. 10-14, 1972.

HARTMANN, A.; GOTTESMAN, B.; MICHALSKI, G. Soil Microbiology: Ecology and Biochemistry. 4. ed. London: CRC Press, 2014.

HF BRASIL/CEPEA. Protagonista na adoção de bioinsumos, Brasil avança em práticas mais sustentáveis. Informações sobre as pesquisas do Cepea a respeito do mercado de hortifrutícolas, 2024.

IBGE. Produção Agrícola Municipal. 2021. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>.

IPES-FOOD. From uniformity to diversity: A paradigm shift from industrial agriculture to agroecology. International Panel of Experts on Sustainable Food Systems, 2016.

KADER, M. A.; ALI, M. A. Nutrient management for healthy plant growth. *Journal of Plant Nutrition*, v. 40, n. 2, p. 245-257, 2017.

KÄMPF, A. N.; FERMINO, M. H. Substrato para plantas: a base da produção vegetal em recipientes. Porto Alegre: Gênese, 2000. 312 p.

KAPOORE, R. V.; WOOD, E. E.; LLEWELLYN, C. A. Bioestimulantes de algas: um olhar crítico sobre os bioestimulantes de microalgas para práticas agrícolas sustentáveis. *Biotechnol. Adv.*, v. 49, p. 107754, 2021.

KIM, J. H.; PARK, S. Y.; LEE, M. K. Efeitos da aplicação de microalgas no cultivo de mudas: redução da necessidade de fertilizantes químicos. *Journal of Agricultural Science and Technology*, v. 15, n. 4, p. 321-330, 2022.

LEE, S.-M.; RYU, C.-M. Algas como novas crianças no microbioma vegetal benéfico. *Frontiers in Plant Science*, v. 12, p. 599742, 2021.

LIMA, T. S.; SILVA, R. M.; OLIVEIRA, J. A. Importância das análises laboratoriais na caracterização de resíduos para substratos agrícolas. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 16, n. 4, p. 302-310, 2021.

LIRA, E. B. Biodigestor anaeróbico na agricultura familiar: produção de biogás e biofertilizante a partir de resíduos pecuários e implantação de cultivo de microalgas. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/26348>.

LOURENÇO, S. O. Cultivo de microalgas marinhas: princípios e aplicações. São Carlos: Rima Editora, 2006.

MACIEL, L. P.; GONÇALVES, R. A.; LEITE, J. P. Formação de mudas de hortaliças: Importância e práticas recomendadas. *Revista Brasileira de Horticultura*, v. 42, n. 1, p. 23-30, 2017.

MARTÍNEZ, M. et al. Use of organic waste and biofertilizers to improve growth and fruit quality in tomato plants. *Journal of Agricultural Science*, v. 13, n. 2, p. 120-130, 2021.

MARTINS, F. A.; OLIVEIRA, L. P.; SANTOS, J. R. Cultivo de microalgas como estratégia para a sustentabilidade agrícola. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 15, n. 2, p. 89-98, 2021.

MARTINS, R. J. Auxinas e giberelinas: suas influências no crescimento de plântulas. *Horticultura Brasileira*, v. 39, n. 1, p. 75-81, 2019.

MARTINS, T. A. et al. Efeitos da interação entre extratos de microalgas e substratos no desenvolvimento radicular e na absorção de nutrientes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 26, n. 3, p. 205-211, 2022.

MAZEPA, C. M.; OLIVEIRA, P. S.; GOMES, E. F. A biomassa de microalgas e seu impacto na melhoria do rendimento das colheitas. *Journal of Agricultural Sciences*, v. 9, n. 3, p. 189-197, 2021.

MELLOR, J. L. *Sustainable Agriculture: A Global Perspective*. 1. ed. CRC Press, 2018.

MOKHBERDAST, A.; REZAIE, R.; FATEHI, M. Aplicação biotecnológica das microalgas e sua relação com a fisiologia vegetal: novas possibilidades para o desenvolvimento de bioestimulantes. *Revista de Biotecnologia e Sustentabilidade*, v. 11, n. 2, p. 135-142, 2023.

NADAI, F. B. Produção de mudas de tomateiro em função de diferentes formas de propagação e substratos. *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 9, n. 3, p. 261-267, 2015.

- NUNES, J. R.; SILVA, A. P. Efeitos da aplicação de biomassa de *Chlorella* sp. na germinação e crescimento inicial de mudas de tomate. *Revista Brasileira de Horticultura*, v. 38, n. 4, p. 123-130, 2020.
- OLIVEIRA, T. M. et al. Compostagem de resíduos de hortifrúti e seu efeito na produção de mudas. *Cadernos de Agroecologia*, v. 17, n. 2, p. 98-105, 2019.
- PANIAGUA, V. A.; GARCÍA, M. T.; MARTÍNEZ, J. R. Propriedades bioestimulantes de *Chlorella* sp. na agricultura: potencial para substratos na produção de mudas. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 18, n. 1, p. 89-97, 2021.
- PEREIRA, F. S.; CARVALHO, L. M.; MENDES, A. S. Uso de fertilizantes orgânicos e substratos alternativos na produção de hortaliças. *Revista Brasileira de Horticultura*, v. 18, n. 3, p. 321-330, 2022.
- PÉREZ-ALFOCEA, F.; SIMON, I.; VALERO, J. C. A sinergia entre substratos e bioestimulantes na agricultura sustentável. *Agricultural Research and Technology*, v. 15, n. 3, p. 230-240, 2020.
- PIMENTEL, David. Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. *Environmental Health Perspectives*, v. 114, n. 10, p. 1320-1324, 2016.
- RAO, I. M. et al. Biofertilizantes e bioestimulantes: o papel na agricultura sustentável. In: I. M. Rao; R. J. E. L. Zambom; L. M. A. L. Figueiredo (Eds.). São Paulo: Editora, 2016.
- RICCI, M.; TILBURY, L.; DARIDON, B.; SUKALAC, K. Princípios gerais para justificar alegações de bioestimulantes vegetais. *Frontiers in Plant Science*, v. 10, p. 494, 2019.
- RIZWAN, M. Redução de insumos químicos na agricultura: alternativas biológicas e sustentabilidade. *Revista Internacional de Agricultura Sustentável*, v. 11, n. 2, p. 115-124, 2018.
- RODRIGUES, A. P.; MARCELO, A. L.; FERRAZ, A. G. Microalgas e bioestimulantes: Novas fronteiras para a agricultura sustentável. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 16, n. 4, p. 553-560, 2021.
- ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. Bioestimulantes à base de microalgas e suas aplicações na agricultura. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 40, n. 1, p. 7-15, 2020.
- RU, I. T. K.; SUNG, Y. Y.; JUSOH, M.; WAHID, M. E. A.; NAGAPPAN, T. *Chlorella vulgaris*: a perspective on its potential for combining high biomass with high value bioproducts. *Applied Phycology*, v. 1, p. 2-11, 2020.
- RUPAWALLA, Z.; SHAW, L.; ROSS, I. L.; SCHMIDT, S.; HANKAMER, B.; WOLF, J. Germination screen for microalgae-generated plant growth biostimulants. *Algal Research*, v. 66, p. 102784, 2022.
- SANTINI, C. A.; SOUZA, J. R.; MARTINS, F. P. Ação da biomassa de microalgas na produtividade agrícola: uma revisão. *Horticultura Brasileira*, v. 39, n. 1, p. 67-75, 2021.
- SANTOS, D. C.; PIMENTEL, J. P.; PEREIRA, J. R.; ALVES, A. C. Microalgas como biofertilizantes na agricultura: Uma revisão. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 15, n. 2, p. 45-53, 2021.

- SANTOS, R. A. et al. Capim napier como componente em substratos para mudas de tomate. *Horticultura Brasileira*, v. 39, n. 3, p. 298-305, 2021.
- SILVA, M. A.; OLIVEIRA, C. F.; SOUZA, R. G. Substratos biológicos e seu impacto no desenvolvimento do tomateiro. *Agricultura Sustentável*, v. 29, n. 1, p. 45-56, 2023.
- SILVA, M. T.; OLIVEIRA, L. F. Ação de fitohormônios na germinação de sementes: um estudo com microalgas. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 37, n. 3, p. 456-463, 2018.
- SILVA, J. A. et al. Efeitos da aplicação de extratos de *Chlorella* sp. no crescimento de mudas de tomateiro. *Horticultura Brasileira*, v. 38, n. 1, p. 123-130, 2020.
- SILVA, G. C.; LIMA, E. F.; SANTOS, R. R. A contribuição das microalgas para a sustentabilidade agrícola. *Revista Brasileira de Horticultura*, v. 41, n. 2, p. 100-110, 2018.
- SUPRAJA, K.; BEHERA, B.; BALASUBRAMANIAN, P. Eficácia de extratos de microalgas como bioestimulantes através do tratamento de sementes e pulverização foliar para a cultura do tomateiro. *Indústria e Produtos Agrícolas*, v. 151, p. 112453, 2020.
- WATANABE, Y. K.; LIMA, T. S.; SILVA, A. P. Benefícios das microalgas na fertilidade do solo: impacto na microbiota e na decomposição da matéria orgânica. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 12, n. 1, p. 34-42, 2020.
- WEZEL, A.; et al. Agroecology as a sustainable solution for food security. *Sustainability*, v. 11, n. 9, p. 2587, 2019.
- WIN, K. T.; THANT, H. M.; SOE, T. A. A importância dos insumos biológicos na produção agrícola sustentável. *Journal of Environmental Science and Agriculture*, v. 5, n. 1, p. 85-92, 2018.
- ZENG, J.; ZHANG, L. Physiology of plants in relation to the development of alternative substrates and biofertilizers/bio-stimulants. 2020.