

Aplicação da biomassa da microalga *Chlorella* sp. como biofertilizante no cultivo de *Raphanus sativus* L.

Application of biomass from the microalgae *Chlorella* sp. as biofertilizer in the cultivation of *Raphanus sativus* L.

Aplicación de biomasa de la microalga *Chlorella* sp. como biofertilizante en el cultivo de *Raphanus sativus* L.

Recebido: 28/12/2023 | Revisado: 05/01/2024 | Aceitado: 06/01/2024 | Publicado: 08/01/2024

Karolynne Gomes Albuquerque

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3391-5402>
Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
E-mail: karolynnekaal@gmail.com

Witter Duarte Guerra

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9155-8047>
Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
E-mail: witter_guerra@yahoo.com.br

Flávia Costa Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5599-6242>
Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
E-mail: flaviacosta.iub@hotmail.com

Jaqueline Elise Garcia Chiesa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3767-0900>
Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
E-mail: jaquelineelisegarcia@hotmail.com

Alexandre de Matos Martins

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1153-9418>
Universidade Federal dos Vales de Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
E-mail: alexandremartins.agro@gmail.com

Antônio Carlos Ferreira Batista

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6313-4565>
Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
E-mail: batistaacf@ufu.br

Resumo

O rabanete (*Raphanus sativus* L.) armazena uma porcentagem significativa de nutrientes presentes no solo em sua raiz, devido à sua natureza de hortaliça tuberosa. Esta planta é altamente exigente em termos nutricionais e apresenta um ciclo de crescimento curto. É crucial implementar um manejo adequado, utilizando técnicas apropriadas para atender às suas necessidades. A adubação orgânica surge como uma alternativa sustentável e de baixo custo para os produtores, contribuindo para a redução de impactos ambientais e minimizando o uso de produtos químicos. Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo avaliar o desenvolvimento do rabanete cultivado com biomassa da microalga *Chlorella* sp., investigando a viabilidade das microalgas como biofertilizantes na agricultura. Foram conduzidos quatro tratamentos, envolvendo fertilizante químico e diferentes concentrações de biomassa algal. Os parâmetros analisados incluíram biomassa fresca (BM), biomassa seca (BC), parte aérea (PA), biomassa fresca (BF), raiz tuberosa (RT), comprimento da raiz principal (CRP), diâmetro da raiz tuberosa (DRT) e altura total da planta (ATP). Nenhum dos tratamentos apresentou resultados estatisticamente significativos, não permitindo a afirmação do potencial de aplicabilidade das microalgas como biofertilizantes no cultivo de rabanetes.

Palavras-chave: *Chlorella* sp.; Microalgas; Biofertilizantes; Rabanete.

Abstract

The radish (*Raphanus sativus* L.) stores a significant percentage of nutrients present in the soil in its root, due to its nature as a tuberous vegetable. This plant is highly demanding in nutritional terms and has a short growth cycle. It is crucial to implement proper management, using appropriate techniques to meet your needs. Organic fertilizer appears as a sustainable and low-cost alternative for producers, contributing to the reduction of environmental impacts and minimizing the use of chemical products. Thus, the present study aims to evaluate the development of radish cultivated with microalgae biomass *Chlorella* sp., investigating the viability of microalgae as biofertilizers in agriculture. Four treatments were carried out, involving chemical fertilizer and different concentrations of algal

biomass. The parameters analyzed included fresh biomass (BM), dry biomass (BC), shoot (PA), fresh biomass (BF), tuberous root (RT), taproot length (CRP), tuberous root diameter (DRT) and total plant height (ATP). None of the treatments presented statistically significant results, not allowing the affirmation of the potential applicability of microalgae as biofertilizers in radish cultivation.

Keywords: *Chlorella* sp.; Microalgae; Biofertilizers; Radish.

Resumen

El rábano (*Raphanus sativus* L.) almacena en su raíz un porcentaje importante de los nutrientes presentes en el suelo, debido a su naturaleza de hortaliza tuberosa. Esta planta es muy exigente a nivel nutricional y tiene un ciclo de crecimiento corto. Es fundamental implementar una gestión adecuada, utilizando técnicas adecuadas para satisfacer sus necesidades. El fertilizante orgánico se presenta como una alternativa sustentable y de bajo costo para los productores, contribuyendo a la reducción de impactos ambientales y minimizando el uso de productos químicos, por lo que el presente estudio tiene como objetivo evaluar el desarrollo del rábano cultivado con biomasa de microalgas *Chlorella* sp., investigando la viabilidad de las microalgas como biofertilizantes en la agricultura. Se realizaron cuatro tratamientos, involucrando fertilizante químico y diferentes concentraciones de biomasa algal. Los parámetros analizados incluyeron biomasa fresca (BM), biomasa seca (BC), brote (PA), biomasa fresca (BF), raíz tuberosa (RT), longitud de la raíz pivotante (CRP), diámetro de la raíz tuberosa (DRT) y altura total de la planta (ATP). Ninguno de los tratamientos presentó resultados estadísticamente significativos, lo que no permitió afirmar la potencial aplicabilidad de las microalgas como biofertilizantes en el cultivo de rábano.

Palabras clave: *Chlorella* sp.; Microalgas; Biofertilizantes; Rábano.

1. Introdução

Os biofertilizantes consistem em substâncias compostas por microrganismos vivos. Quando aplicados em sementes, plantas ou solo, esses microrganismos penetram nas plantas ou na rizosfera, promovendo o crescimento e aumentando a disponibilidade de nutrientes. O uso de adubos orgânicos, portanto, pode facilitar a implementação de práticas agrícolas sustentáveis. Observando a atual dinâmica de mercado, há uma crescente busca por produtos que não causem poluição, impulsionada pelos avanços científicos que exploram os efeitos de substâncias baseadas em microrganismos. Tanto no Brasil quanto no restante do mundo, diversas empresas têm demonstrado interesse em pesquisas que se fundamentam em fontes como microalgas (Silva, 2019).

As microalgas constituem um grupo micropolifilético de organismos fotossintéticos, compreendendo cianobactérias eucarióticas, procarióticas e protozoários fotossintetizantes. Esses organismos são naturalmente encontrados em diversas áreas aquáticas ou úmidas. Caracterizam-se por serem de cultivo fácil, exibirem taxas elevadas de crescimento e adaptarem-se de forma notável a uma variedade de ambientes (Oliveira et al., 2022).

Conforme mencionado por Guerra et al. (2022), as microalgas emergem como uma promissora oportunidade para a condução de pesquisas inovadoras em diversas áreas do conhecimento, incluindo fertilização do solo e bioenergia. Elas são reconhecidas pelos inúmeros benefícios que oferecem, tais como sustentabilidade, facilidade de reprodução e controle ambiental. A biotecnologia desempenha um papel crucial no desenvolvimento de novas técnicas para esses microrganismos, contribuindo para aprimorar suas propriedades.

As microalgas convertem dióxido de carbono em biomassa, gerando um material com significativo potencial biotecnológico. Esse produto pode ser aplicado em diversas finalidades, como suplementos alimentares, lipídeos, enzimas, proteínas, amido, ficocolóides, polímeros, toxinas, pigmentos, vitaminas, antioxidantes, bioquímicos, isótopos estáveis e em produtos de energia verde, incluindo biocombustíveis, biocarvão e bioetanol (Moreno et al., 2019).

Destaca-se, adicionalmente, a relevância de promover as vantagens ambientais associadas ao cultivo desses organismos. Esses organismos não competem por terras agricultáveis, apresentam uma notável capacidade de capturar CO₂, reduzindo assim os impactos adversos do efeito estufa na atmosfera. Além disso, as microalgas demonstram um vasto potencial, uma vez que não tendem a gerar problemas como desmatamento, erosão do solo e poluição da água, em comparação com outras fontes de matéria-prima utilizadas na produção de biocombustíveis (Shi et al., 2019; Shuba & Kifle, 2018).

As microalgas possuem aplicações significativas na agricultura, atuando como biofertilizantes e condicionadores de solo. Nessas funções, demonstram a capacidade de fixar nitrogênio e desempenhar um papel crucial no controle da erosão. Além disso, certos compostos alelopáticos provenientes das microalgas encontram aplicação como herbicidas biológicos ou agentes de biocontrole (Benedito et al., 2019).

A prática de utilizar clorofitas e cianófitas como biofertilizantes é conhecida como "algalização", termo cunhado por GS Venkataraman na década de 70. Atualmente, o interesse global pelo uso desses microrganismos e seus subprodutos têm crescido significativamente, especialmente na produção orgânica de plantas (Silva, 2019).

A algalização possui um potencial singular para aprimorar a produtividade em diversas circunstâncias agrícolas e ecológicas, desempenhando um papel crucial no desenvolvimento da fertilidade do solo e, assim, elevando sua eficiência produtiva. Pesquisas indicam que a incorporação de microalgas como aditivo ao solo resulta em melhorias significativas em diversos aspectos, tais como germinação, recuperação de nitrato, teor de raiz, formação de clorofila, rendimento de grãos, altura da planta, entre outros (Carneiro et al., 2018).

Dentro do grupo de microalgas, a *Chlorella* se destaca como o gênero mais amplamente utilizado para fins de biofertilização até o presente momento. O que diferencia a *Chlorella* das outras microalgas é sua capacidade notável de fornecer quantidades substanciais de macro e micronutrientes, além de componentes ou metabólitos essenciais, como carboidratos, proteínas e fatores de estímulo de crescimento, como citocinas, que beneficiam diversas culturas agrônômicas (Moreno et al., 2019).

O rabanete (*Raphanus sativus L.*), pertence da família *Brassicaceae*, é um tubérculo tuberoso caracterizado por um ciclo de desenvolvimento breve. A colheita, geralmente realizada entre 30 a 40 dias após a sementeira, revela raízes redondas e vermelhas. Devido à sua natureza exigente em nutrientes, um cuidado adequado e a implementação de métodos apropriados são essenciais para atender às suas necessidades. As raízes vegetais, como as do rabanete, destacam-se pela concentração significativa de nutrientes provenientes do solo (Silva, 2020).

Nesse cenário, a utilização de uma espécie de microalga do gênero *Chlorella* como biofertilizante emerge como uma alternativa viável em termos de rentabilidade, aceitação, produtividade e outras vantagens quando comparada a outros fertilizantes comerciais. Além disso, destaca-se como uma opção de fertilizante orgânico, isento de aditivos químicos. Contudo, é crucial submeter os biofertilizantes derivados de microalgas a aprimoramentos biotecnológicos para viabilizar sua implementação em escala comercial. O cultivo dessas microalgas pode ocorrer em laboratórios ou piscinas específicas, seguido por etapas de cultivo, colheita, desidratação e conversão para finalidades diversas, conferindo valor comercial agregado. Dessa forma, o presente estudo busca alternativas para redução de custos na produção de rabanetes (*Raphanus sativus L.*), explorando uma espécie de microalga do gênero *Chlorella* como biofertilizante a partir de sua biomassa pura e seca.

Conforme indicado por Silva et al. (2020), a utilização de microalgas como fertilizante orgânico pode otimizar a fixação de nitrogênio, melhorar as propriedades físicas e químicas do solo, além de sintetizar substâncias que favorecem o aprimoramento e o desenvolvimento das plantas, incluindo o controle de infecções.

Nesse cenário, torna-se essencial aprimorar as condições de produção de *Raphanus sativus L.* mediante a adubação com a microalga *Chlorella* sp., empregando-a como biofertilizante a partir de sua biomassa seca. O objetivo é elevar a produtividade, tanto em termos de biomassa fresca quanto de biomassa seca da raiz, viabilizando assim a utilização desse recurso proveniente dessa matéria-prima microscópica.

A biotecnologia desempenha um papel fundamental no impulsionamento das microalgas como uma fonte sustentável, sendo que o avanço de metodologias eficazes é crucial para sua consolidação no mercado. A eficácia da cultura de algas está intrinsecamente ligada à sua habilidade em converter de maneira eficiente a luz solar em biomassa e lipídios (Dourado et. al, 2020).

Este trabalho tem como objetivo geral realizar a produção sustentável de *Raphanus sativus L.* através da biofertilização com a biomassa seca pura da microalga *Chlorella sp.* Os objetivos específicos incluem o cultivo da microalga *Chlorella sp.* em escala laboratorial, com o intuito de gerar biomassa para ser utilizada como biofertilizante na produção de *Raphanus sativus L.* Além disso, pretende-se avaliar o crescimento da *Raphanus sativus L.* após 30 dias, analisando parâmetros como biomassa fresca (BM), biomassa seca (BC), parte aérea (PA), biomassa fresca (BF), raiz tuberosa (RT), comprimento da raiz principal (CRP), diâmetro da raiz tuberosa (DRT) e altura total da planta (ATP). Outro objetivo é aplicar um planejamento estatístico para o cultivo de *Raphanus sativus L.* e avaliar a microalga *Chlorella sp.* como biofertilizante a partir de sua biomassa seca pura, investigando sua potencialidade nesse contexto.

2. Metodologia

As cepas da microalga *Chlorella sp.* foram isoladas e preservadas no laboratório de biocombustíveis green chemistry (LABIOGREENC), localizado no Instituto de Ciências Exatas e Naturais do Pontal (Química) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Campus Pontal, Ituiutaba – Minas Gerais (MG). A manutenção e os experimentos com as cepas ocorreram em condições controladas. Ademais, as cepas foram submetidas a um rigoroso processo de lavagem, utilizando álcool e água destilada. Após a esterilização dos recipientes, deu-se início ao cultivo de ambas as espécies.

Seguindo as orientações de Guerra (2019) e Oliveira (2019), as microalgas foram mantidas em um sistema de cultivo com um fotoperíodo de 12/12 horas de luz e escuridão, a uma temperatura ambiente próxima a 25°C, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Cultivo de microalgas em escala laboratorial.



Fonte: Autores (2024).

Conforme Chiesa (2020), o controle do tempo de exposição à luz foi programado através de um "timer" localizado na prateleira da unidade de cultivo, seguindo um fotoperíodo de 12/12 horas de luz e escuridão, conforme preconizado por Cartas (2018). O sistema de aeração foi projetado para promover a homogeneização do meio contendo as microalgas, mantendo uma agitação constante. Durante os testes iniciais com as microalgas e nas fases iniciais de repiques, o meio utilizado foi o Guillard (1975), sem a inclusão de vitaminas e sem a correção de pH. Posteriormente, optou-se pelo meio Guillard modificado, visando redução e custos, conforme detalhes no Quadro 1.

Quadro 1 - Composição do meio Guillard modificado (1975).

Reagentes	Soluções (g/L)	Meio de cultivo
Solução 1: Sais macronutrientes	CaCl ₂ .2H ₂ O = 36,76 – Cloreto de Cálcio MgSO ₄ = 18,04 – Sulfato de Magnésio NaHCO ₃ = 12,6 K ₂ HPO ₄ .3H ₂ O = 11,41 NaNO ₃ = 85,01 – Nitrato de Sódio	4 mL
Solução 2: Sais micronutrientes	Na ₂ EDTA = 4,36 FeCl ₃ .H ₂ O = 3,15 – Cloreto de Ferro III CuSO ₄ .5H ₂ O = 0,012 – Sulfato de Cobre ZnSO ₄ .7H ₂ O = 0,022 – Sulfato de Zinco CoCl ₂ .H ₂ O = 0,012 – Cloreto de Cobalto MnCl ₂ .4H ₂ O = 0,18 – Cloreto de Manganês NaMoO ₄ .2H ₂ O = 0,008 – Molibdato de Sódio	4 mL
Água destilada		1000 mL

Fonte: Guerra (2019).

A elaboração do meio Guillard envolveu, inicialmente, a criação de duas soluções distintas: uma contendo os macronutrientes e a outra, os micronutrientes. A solução com sais (macronutrientes) foi preparada com todos os reagentes indicados na Tabela 1, em uma quantidade de 1 litro, dissolvidos em água destilada. Da mesma forma, a solução de micronutrientes foi criada utilizando 1 litro de água destilada. Após a preparação dessas soluções, elas foram alocadas em frascos âmbar previamente higienizados e esterilizados. Para a montagem do meio Guillard destinado ao cultivo de microalgas, foram realizadas medições de 4 mL de macronutrientes (SMA) e 4 mL de micronutrientes (SMI) em 1 litro de água destilada (Guerra, 2019).

A elaboração do meio e a medição do inóculo (microalgas) seguiram as diretrizes propostas por Borges (2014). Tanto nos reatores horizontais quanto nos verticais, foram adotadas as seguintes proporções: 80% de meio e 20% de inóculo. A microalga *Chlorella* sp. foi submetida ao método de cultivo em batelada, no qual os experimentos foram conduzidos em um ambiente laboratorial com controle rigoroso de luminosidade, nutrientes e aeração, reduzindo, assim, os riscos de contaminação. Em cultivos por batelada, os microrganismos crescem até atingir a fase estacionária, caracterizada pela ausência de adição de nutrientes extras ao longo do processo. Para a análise do crescimento e rendimento de lipídeos, a faixa de idade selecionada foi de 30 dias, conforme preconizado por Gris (2011) e Cartas (2018).

Após a conclusão do período de cultivo estabelecido pelo modelo experimental, as amostras dos reatores foram submetidas à centrifugação utilizando o sistema da marca Aaker, operando a uma força centrífuga de 7808g por minuto. Seguindo o protocolo experimental de Borges (2014), as amostras foram retiradas e transferidas para um béquer, previamente pesado, sendo todo o material então submetido a um processo de secagem em estufa a 80°C por 48 horas. Posteriormente, o material foi novamente pesado para determinar a biomassa final.

A fim de cultivar rabanetes e realizar a subsequente adubação, a semeadura de sementes de *Raphanus sativus* L., utilizando a biomassa como biofertilizante, foi conduzida na estufa do campus 2 do Instituto Luterano de Ensino Superior (ILES/ ULBRA), localizado em Itumbiara. As sementes foram adquiridas em estabelecimentos comerciais locais. Sacos de dimensões 20x30 cm foram empregados, sendo totalmente preenchidos com solo previamente peneirado.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), com a proposta de quatro tratamentos de 5 repetições cada. Os tratamentos foram executados por:

- T1: Controle – Apenas solo.
- T2: Solo + NPK (4gramas).
- T3: Solo + Biomassa algal (4 gramas).
- T4: Solo + Biomassa algal (2 gramas).

No início de mês de maio, efetuou-se o plantio das sementes de rabanete, inserindo quatro sementes por saco, com o desbaste realizado 20 dias após o plantio. Durante todo o experimento, a irrigação ocorreu diariamente. A coleta para análise foi realizada 30 dias após o plantio, avaliando os seguintes parâmetros: biomassa seca (BC), parte aérea (PA), biomassa fresca (BF), raiz tuberosa (RT), comprimento da raiz principal (CRP), diâmetro da raiz tuberosa (DRT) e altura total da planta (ATP).

Após a colheita e a devida limpeza dos rabanetes, estes foram prontamente encaminhados para a análise da biomassa fresca por meio de uma balança analítica. Para as análises de biomassa, uma vez completada a avaliação de todos os demais parâmetros, as amostras foram devidamente acondicionadas em sacos de papel e armazenadas em estufa a 50°C por um período de 24 horas. Após esse intervalo, o material vegetal foi retirado da estufa e transferido para um dessecador a fim de resfriar. As biomassas secas foram então pesadas com precisão utilizando uma balança analítica.

A mensuração do comprimento das raízes e da altura das plantas foi conduzida com o uso de uma régua milimetrada. O comprimento da raiz foi determinado desde o ápice radicular até o colo da planta, enquanto a altura foi medida do colo até o ápice da folha de maior extensão. O diâmetro da raiz tuberosa foi analisado na região central, utilizando um paquímetro. Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias entre os tratamentos foram comparadas por meio do teste ANOVA.

3. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos, apresentados nas tabelas a seguir, refletem a análise de variância e as médias entre os tratamentos, conforme o teste ANOVA. Observa-se que nenhum dos tratamentos apresentou resultados estatisticamente significativos, não permitindo a afirmação do potencial de aplicabilidade das microalgas como biofertilizantes no cultivo de rabanetes. No entanto, é importante considerar que a aplicabilidade durante o processo de cultivo e o período de análise são variáveis que podem influenciar de maneira determinante nos resultados obtidos.

Os resultados referentes à biomassa úmida não revelaram diferenças significativas entre os tratamentos. Como evidenciado na Tabela 1, o valor de p foi superior a 0,05, indicando que, durante suas fases iniciais de desenvolvimento, os tratamentos que utilizaram concentrações diversas de microalgas e um fertilizante químico não exerceram influência estatisticamente significativa sobre a biomassa úmida da planta.

Essa falta de impacto estatisticamente significativo na biomassa úmida pode ser atribuída a uma série de fatores, incluindo a complexidade das interações entre os componentes do solo, a variabilidade natural nas condições de crescimento e a resposta específica da planta aos diferentes tratamentos. Ademais, é crucial considerar que o período de observação pode ter sido insuficiente para capturar variações mais tardias nos efeitos dos tratamentos sobre o desenvolvimento da planta. Portanto, uma análise mais abrangente ao longo de diferentes estágios de crescimento e em prazos mais longos poderia proporcionar insights mais detalhados sobre o potencial impacto desses tratamentos na biomassa úmida das plantas.

Tabela 1 – Biomassa úmida.

ANOVA						
Fonte da variação	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Tratamentos	449,35	3	149,7833	0,463812	0,712809	3,490295
Blocos	673,925	4	168,4813	0,521711	0,721775	3,259167
Resíduo	3875,275	12	322,9396			
Total	4998,55	19				

Fonte: Autores (2024).

Essa falta de impacto estatisticamente significativo na biomassa úmida pode ser atribuída a uma série de fatores, incluindo a complexidade das interações entre os componentes do solo, a variabilidade natural nas condições de crescimento e a resposta específica da planta aos diferentes tratamentos. Ademais, é crucial considerar que o período de observação pode ter sido insuficiente para capturar variações mais tardias nos efeitos dos tratamentos sobre o desenvolvimento da planta. Portanto, uma análise mais abrangente ao longo de diferentes estágios de crescimento e em prazos mais longos poderia proporcionar insights mais detalhados sobre o potencial impacto desses tratamentos na biomassa úmida das plantas.

De forma semelhante, os resultados referentes à biomassa seca da planta, raiz tuberosa e raiz principal não demonstraram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos, uma vez que o valor de p foi superior a 0,05. Essa uniformidade nos resultados sugere que, até o ponto de análise, as variações nas concentrações de microalgas e o uso do fertilizante químico não apresentaram impacto estatisticamente relevante sobre a biomassa seca da planta, raiz tuberosa e raiz principal.

Segue abaixo as Tabelas 2 a 7, não foram observadas divergências estatisticamente significativas entre os tratamentos. No entanto, é importante ressaltar que outros fatores ambientais, condições de solo e características específicas do cultivo podem influenciar esses resultados.

Tabela 2 – Biomassa seca.

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Tratamentos	260,4375	3	86,8125	0,769956	0,532675	3,490295
Blocos	861,7	4	215,425	1,910643	0,173351	3,259167
Resíduo	1353	12	112,75			
Total	2475,138	19				

Fonte: Autores (2024).

Tabela 3 – Raiz tuberosa.

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Tratamentos	8,7375	3	2,9125	1,43916	0,280118	3,490295
Blocos	10,523	4	2,63075	1,299938	0,324535	3,259167
Resíduo	24,285	12	2,02375			
Total	43,5455	19				

Fonte: Autores (2024).

Tabela 4 – Raiz principal.

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Tratamentos	392,6895	3	130,8965	3,305968	0,057432	3,490295
Blocos	325,628	4	81,407	2,056044	0,15011	3,259167
Resíduo	475,128	12	39,594			
Total	1193,446	19				

Fonte: Autores (2024).

Tabela 5 – Parte área da planta.

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Tratamentos	107,492	3	35,83067	1,261077	0,331576	3,490295
Blocos	6,363	4	1,59075	0,055987	0,99337	3,259167
Resíduo	340,953	12	28,41275			
Total	454,808	19				

Fonte: Autores (2024).

Tabela 6 – Parte área da planta.

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Tratamentos	528,79	3	176,2633	1,170647	0,361548	3,490295
Blocos	393,722	4	98,4305	0,653723	0,635363	3,259167
Resíduo	1806,83	12	150,5692			
Total	2729,342	19				

Fonte: Autores (2024).

Tabela 7 – Diâmetro da raiz tuberosa.

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Tratamentos	1,2055	3	0,401833	0,452473	0,720295	3,490295
Blocos	5,563	4	1,39075	1,566013	0,24599	3,259167
Resíduo	10,657	12	0,888083			
Total	17,4255	19				

Fonte: Autores (2024).

Conforme mencionado por Gonçalves et al. (2019), o inadequado desenvolvimento da cultura pode ser atribuído a diversos fatores, tais como temperatura, condições de armazenamento do adubo, umidade, entre outros. A fim de otimizar a resposta no experimento, é necessário aprimorar os aspectos relacionados ao tempo e à aplicabilidade, uma vez que o período de 30 dias revela-se insuficiente para análises precisas.

Diversos estudos abordando diferentes aplicações da microalga como biofertilizante destacaram efeitos benéficos. Agwa et al. (2017) demonstraram a viabilidade econômica e eficácia da *Chlorella vulgaris* na melhoria dos nutrientes do solo e na produtividade do cultivo de quiabo. Seus resultados revelaram que o quiabo submetido a esse tratamento apresentou maior teor de umidade e matéria orgânica em comparação com o grupo controle, além de um tempo de germinação reduzido. Além desses parâmetros positivos, observou-se um aumento na altura da planta e no número de frutos.

Conforme destacado por Kim et al. (2018), cultivos de cebolinhas e espinafres chineses submetidos ao tratamento com *Chlorella* evidenciaram um incremento tanto no número quanto na espessura das folhas, resultando em uma melhoria significativa no rendimento comercial devido ao aumento no peso da biomassa fresca.

Assim, os resultados alcançados abrem espaço para novas discussões e abordagens em pesquisas futuras sobre o emprego de microalgas como biofertilizantes. Diversas investigações já evidenciaram resultados inovadores, sustentáveis e econômicos, contribuindo para aumentar tanto a produtividade dos cultivos quanto a qualidade do solo.

4. Conclusão

Apesar de não ter havido uma diferença significativa entre os tratamentos, o uso de microalgas como biofertilizantes revelou uma tendência positiva. Biofertilizantes à base de biomassa de microalgas do gênero *Chlorella* sp. apresentam um elevado potencial de fertilização devido à presença de nutrientes de fácil absorção em sua composição, podendo parcialmente substituir a dose de fertilizante químico. Contudo, é essencial explorar novos métodos e concentrações para validar plenamente seu poder fertilizante. A abordagem do experimento desempenha um papel crucial nos resultados obtidos, levando a novas discussões sobre como aplicar seu uso de maneira eficaz.

Sugestões para trabalhos futuros

Pode-se delinear alguns caminhos para futuras investigações. Embora não tenha sido observada uma diferença significativa entre os tratamentos, a utilização de microalgas como biofertilizantes apresentou uma tendência positiva. Os biofertilizantes derivados da biomassa de microalgas, especialmente do gênero *Chlorella* sp., demonstraram um considerável potencial de fertilização devido à presença de nutrientes de fácil absorção em sua composição, indicando a possibilidade de parcial substituição da dose de fertilizante químico. No entanto, é imperativo explorar novos métodos e concentrações para validar completamente seu poder fertilizante. A abordagem experimental desempenha um papel crucial nos resultados obtidos, sugerindo a necessidade de novas discussões sobre a aplicação eficaz desses biofertilizantes.

Agradecimentos

Os autores expressam sua gratidão pelo suporte financeiro concedido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - código de financiamento 001.

Referências

- Agwa, O. K., Ogugbue, C. J., & Williams, E. E. (2017) Field Evidence of *Chlorella* vulgaris potentials as a biofertilizer for *Hibiscus esculentus*. *Int J Agric Res.* 12(4):181-189.
- Benedito, V. M., Porto, P. S. S. & Freitas, R. R. (2019). Modelagem do crescimento de microalgas: Um estudo bibliométrico. *Research, Society and Development*, 8 (1), e681511. <https://doi.org/10.33448/rsd-v8i1.511>
- Borges, W. S. (2014). Produção De Bio-Óleo Empregando Microalgas Em Diferentes Meios De Cultivo. Tese (*Doutorado em Engenharia Química: Programa de Pós Graduação em Engenharia Química*), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Cartas, L. C. (2018). Isolamento e cultivo de microalgas em resíduo líquido do processamento da mandioca: manipueira. Dissertação (*Mestrado em Biotecnologia: Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia*), Universidade Federal do Tocantins, Gurupi.
- Carneiro, G. A., Silva, J. J. R., Oliveira, G. A. & Pio, F. P. B. (2018). Uso de Microalgas para Produção de Biodiesel. *Research, Society and Development*, 7 (5), e1075181. <https://doi.org/10.17648/rsd-v7i5.250>
- Chiesa, J. E. G. (2019). Avaliação dos efeitos causados pelas diferentes condições de cultivo nas microalgas *Scenedesmus* sp. e *Chlorella* sp. mediante a potencialização de teor lipídico. Dissertação (*Mestrado em Biocombustíveis: Programa de Pós-Graduação em Biocombustíveis*), Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba.
- Dourado, M. S., Cardoso, C. C. A., Calado, C. S. C., Frety, R. T. F. & Sales, E. A. (2020). Microalgas como matéria prima para a produção de compostos lipídicos precursores de combustíveis verdes. *Brazilian Journal of Development*, 6(3), 13985-13994. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-316>.
- Guillard, R. R. L. (1975). Culture of phytoplankton for feeding marine invertebrates. *Culture of marine invertebrate animals*, New York: Plenum, 29–60. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-8714-9_3
- Gonçalves, N. S., Komiyama, C. M., De Lima, J. D. F. P., De Moraes, M. D. G., Savegnago, F. B., Júnior, C. M. & Staub, L. (2019). Qualidade da cama de frango de corte e a alternativa da acidificação como tratamento. *Nativa*. 7 (6), 828-34.
- Gris, L. R. S. (2011). Produção da Microalga *Nannochloropsis oculata* em Fotobiorreator Airlift. Dissertação (*Mestrado em Engenharia Química: Departamento de Engenharia Química*), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

- Guerra, W. D. (2019). Avaliação do rendimento de biomassa e lipídeos empregando diferentes regimes de cultivo em *Scenedesmus* sp. Dissertação (Mestrado em Biocombustíveis: Programa de Pós-Graduação em Biocombustíveis), Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba.
- Guerra, W. D., Oliveira, F. C., Chiesa, J. E. G., Dias, I. S., Vieira, A. T., Borges, W. S., Costa, A. S. V., Faria, A. M., & Batista, A. C. F. (2019). Avaliação do rendimento de biomassa e lipídeos empregando diferentes regimes de cultivo em *Scenedesmus* sp. *Research, Society and Development*. 11(1), e18411124565 <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i1.24565>
- Kim, M. J., Shim C. K., Kim, Y. K., Ko, B. G., Park, J. H., Hwang, S. G., & Kim, B. H. (2018). Effect of biostimulator, *Chlorella* fusca on improving growth and qualities of chinese chives and spinach in organic farm. *Plant Pathol J*. 34(6):567-574. 10.5423/PPJ.FT.11.2018.0254.
- Oliveira, F. C. (2019). Otimização de produção de biomassa para extração lipídica utilizando estirpes da microalga *Scenedesmus* sp. Dissertação (Mestrado em Biocombustíveis: Programa de Pós-Graduação em Biocombustíveis), Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba.
- Ortiz-Moreno, M. L., Sandoval-Parra, K. & Solarte-Murillo, L. V. (2019). *Chlorella*, um potencial biofertilizante? *Orinoquia* 23(2), 71-78. <https://doi.org/10.22579/20112629.582>.
- Shi, R., Handler, R. M. & Shonnard, D. R. (2019). Life cycle assessment of novel technologies for algae harvesting and oil extraction in the renewable diesel pathway. *Algal Research*, 37, 248-259. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.12.005>.
- Shuba, E. S. & Kifle, D. (2018). Microalgae to biofuels: 'Promising' alternative and renewable energy, review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 743-755. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.042>
- Silva, A. C., Santos, A. C., Anjos, S., Rosado, T., & Cançado, L. (2019). Biofertilizantes de microalgas: Desafios para uma produção competitiva e sustentável. VII Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia e Inovação de Biodiesel. Florianópolis, SC.
- Silva, K. (2020). Produção de rabanete com diferentes tipos de adubações orgânicas. *Trabalho de conclusão de curso. Universidade Cesumar – Unicesumar de Maringá – PR.*
- Silva, R. (2019). Diferentes doses de nitrogênio no desempenho do rabanete. *Trabalho de conclusão de curso. Universidade Fama. Vilhena -RO.*